

ANSYS®

Excellence in Engineering Simulation

ADVANTAGE

2019年 | 第1期

聚焦电气化



大众汽车赛车运动部以一台电动车
精彩打破派克峰国际爬山赛记录。

18

实现飞机推进的电气化

24

新一代电动汽车电机

32

为未来蓄势待发



官方微博



官方微信

ANSYS

了解更多精彩内容：

<http://www.ansys.com/zh-CN/About-ANSYS/advantage-magazine>

2019 R3

**NEXT-GENERATION
PERVASIVE ENGINEERING SIMULATION**

**ANSYS
ADVANTAGE**

想要了解更多ANSYS最新资讯、市场活动以及行业前沿应用解决方案，欢迎通过以下方式联系ANSYS中国：

官方微信：ANSYS

官方微博：ANSYS中国

咨询电话：400 819 8999

咨询邮件：info-china@ansys.com

官方网站：www.ansys.com.cn

ANSYS中国分公司

北京办公室地址：

北京市海淀区中关村科学院南路2号
融科资讯中心B座1509室
(100190)

上海办公室地址：

上海市黄浦区南京西路128号永新广场20楼
(200002)

成都办公室地址：

成都市人民南路二段1号仁恒置地广场3104单元
(610016)

深圳办公室地址：

深圳市福田区金田路4028号荣超经贸中心1009室
(518048)

全国统一售前咨询热线：400 819 8999

全国统一咨询邮箱：info-china@ansys.com

为推动变革注入蓬勃动力



作者：Rob Harwood，ANSYS全球行业总监

在我们当下所处的世界，电气化发展趋势日益加快，从交通运输到工业设备，电气化正在改变能源的生产、分配及使用方式，而且这些变革对传统产品的研发过程有着非常巨大的影响。电子系统及部件的使用，不仅带来复杂度更高的工程设计，而且还会导致前所未有的设计挑战。然而，产品研发团队仍要满足极具挑战性的产品交期、降低成本的目标以及严格的监管要求。鉴于这些挑战，对于面向新一轮电气化变革的工程设计团队而言，工程仿真绝对是实现竞争优势不可或缺的关键技术。

说 到产品电气化，大家首先想到的可能就是电动汽车。大多数全球领先汽车制造商都在纷纷从燃油汽车向混合动力汽车和纯电动汽车转型。而且，电气化也正在影响着几乎所有行业，因为众多产品研发团队也在努力寻找实现更高能效且更环保的新途径。

在航空航天领域，越来越多的在电动飞行器领域的尝试不断推动相应电气系统取代液压和机械系统。而且企业致力于发展混合动力，甚至纯电动系统，以此来降低噪声，减少排放，减轻重量，节省燃油，同时还能提高安全性和可靠性。在全球能源产业，大型集中式发电系统正在向小型分布式发电系统以及以低碳或可再生能源发电为基础的微电网转型。而且，面对日益增长的电力需求，数以百万计的电动泵以及其它工业设备必须不断提高自身的效率。

推动电气化变革的因素有很多。

随着对能源需求的增加，新的使能技术（如电池等）的成本在不断下降。地缘政治对能源安全的担忧以及环境政策和政府主导意识的不断提升，都鼓励本地对可持续发电的投资。随着电能的普及并且越来越具吸引力，这带来了更高的消费需求。有一点可以肯定的是：电气化将逐步影响您的产品，而且很快还将影响您商业模式的方方面面。

仿真让你无惧挑战

在现有产品系统中增加电气系统、电气部件或者彻底替换传统技术方案，会让产品复杂度显著提升，甚至需要彻底重新构思传统设计工艺。

ANSYS和SAE的近期调查显示，有四分之三的企业高管认为，电气化正在推动他们设计流程的根本性变革。这将增加他们虚拟原型设计的工作量，这个工作需要一种更加基于模型的工程设计方法。这些高管同时表示，更低的研发成本、更

低的物理测试成本、更快的研发时间以及更高的创新水平才是他们采用工程仿真设计的主要原因。调查中大多数受访者表示，采用基于仿真的设计方法，其设计及开发进程至少加快了2倍。

这一转变的部分原因是电气部件无法单独进行研究。电气化产品的设计不仅需要多种设计因素，如热和机械强度，同时还要兼顾整体系统及其所有部件的性能。

企业必须快速完成这一切，以防竞争对手抢先解决这些挑战并成功通过其颠覆性产品抢占市场份额。正是由于这些原因，仿真才能在实现电气化变革的过程中，发挥如此重要的作用。

未来已来，且属于电气化

本期《ANSYS Advantage》中，我们将介绍工程仿真技术支持电气化变革的创新方法。我希望本期杂志将帮助您预见公司如何才能引领产品在全球的电气化进程。 **A**

目录

聚焦电气化

4

最佳实践

发挥电气化的巨大潜力

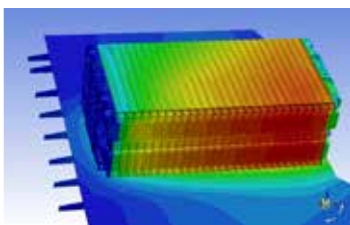
在帮助工程师研发电气化产品方面，工程仿真扮演着至关重要的角色。

10

汽车

突破电动汽车的性能极限

大众汽车赛车运动部团队借助多物理场仿真打破派克峰国际爬山赛电动车速最高记录。



14

汽车

高效管理大型电池系统

通过软件仿真整个闭环电源系统，并确认所有组件能够按照设计协同工作，可实现电池管理系统的安全与可靠。

18

航空航天与国防

飞机推进系统的电气化发展

研发多电飞机需要部署工程仿真，以实现性能目标并减少测试的时间和成本。



21

汽车

最低阻抗路径

菲亚特-克莱斯勒汽车公司利用仿真技术预测闪电对车载电子装置的影响。

24

汽车

新一代电动汽车电机——静音处理

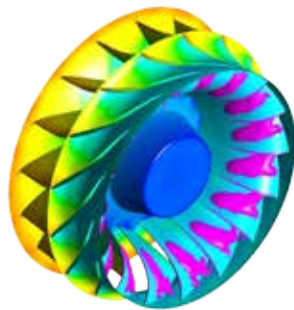
在设计开关磁阻电机时，Continuous Solutions使用电磁场仿真将转矩脉动减少90%，总噪声减半。

28

能源

电机与发动机的电气化解决方案

Marelli Motori采用仿真技术以更低的成本研发可靠、环保的产品，满足了发电市场的需求。



32

能源

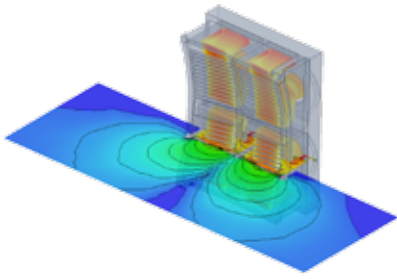
为未来注入强大的动力

WEG Energy在产品设计的各个方面采用ANSYS解决方案，包括整个设计过程甚至产品运行过程。

关于封面

在工程仿真的帮助下，大众汽车赛车运动部团队不仅打破了电动汽车记录，还在派克峰国际爬山赛中创下所有汽车的最高记录。欢迎阅读第10页了解更多信息。





38

能源

避免聚变反应堆过热

仿真可帮助工程师在1.5亿摄氏度的工作温度下保护聚变反应堆组件。

42

能源

追逐太阳的脚步

为了避免损坏太阳能跟踪器，工程师使用仿真及风洞测试。

46

能源

应变简化轻松预测

Cummins通过将应变关联模型与整体结构分析相结合，研发了一种新的发电机组耐用性建模。

50

能源

故障安全数字孪生体

工程师使用ANSYS软件研发安全继电器的数字孪生体，可将实时传感器数据与仿真结果进行整合，以提前预测故障。

SIMULATION@WORK

54

半导体

加快5G网络基础设施设计

芯片-封装-系统建模及仿真对设计和验证5G市场的产品至关重要。

领域

58

学术

设计重量更轻且更坚固的赛车

增材制造解决方案及拓扑优化可帮助学生团队设计出重量更轻且更坚固的FSAE汽车，构建起来也更容易。

61

新闻

仿真最新动态

与仿真有关的新闻集锦

网络独家报道

(更多杂志内容参见ANSYS官网)

能源

瓶中的太阳：核聚变

为了帮助产出与现代发电厂同等规模的聚变能，工程师需要进行仿真。

能源

降低开关装置的电流应力

一家公司迅速以较低成本提高了开关设备设计方案的性能，同时还向市场交付了性能优异的高可靠性能源产品。

能源

保持太阳能逆变器的使用寿命

研究人员在进行原型设计之前对太阳能逆变器进行电子特性分析及热特性分析。

医疗保健

增材制造和仿真强化个性化植入物

增材制造和仿真有助于创建个性化植入物，改善患者生活品质并能降低整体医疗成本。

思想领导者

借助ANSYS技术实现‘向左移位’

ANSYS员工John Lee和Synopsys员工Jacob Avidan分享了ANSYS与Synopsys之间协作关系如何有助于应对新兴半导体技术带来的挑战。

欢迎订阅ANSYS Advantage! 本期文
刊内容由ANSYS客户、员工及合作
伙伴共同撰写，我们希望您能喜欢。

ANSYS Advantage编辑部人员
ansys-advantage@ansys.com

总编&执行编辑
Chris Reeves

编辑顾问
Amy Pietzak, Tom Smithyman

社论撰稿人
ANSYS客户卓越部 (北美)

资深编辑
Tim Palucka

编辑

Erik Ferguson Walter Scott
Kara Gremillion Terri Sota
Mark Ravenstahl Scott Nyberg

艺术总监
Ron Santillo

设计师
Dan Hart Design

ANSYS, Inc.
Southpointe
2600 ANSYS Drive
Canonsburg, PA
15317
美国

点击[ansys.com/magazine](https://www.ansys.com/magazine)订阅

Realize Your Product Promise®

作为全球工程仿真领域的领先企业，ANSYS在众多产品的创造过程中都扮演着至关重要的角色。无论是火箭发射、飞机翱翔长空、汽车高速驰骋、电脑和移动设备的便捷使用、横跨江河的桥梁还是可穿戴设备的使用，ANSYS仿真技术都尽显卓越。

我们帮助全球极具创新性的企业推出投其所好的出色产品，凭借业界超高性能、丰富的工程仿真软件产品组合，帮助客户解决极为复杂的工程仿真难题，让想象的力量赋予工程产品更多可能性。

ANSYS, Inc.或Dan Hart Design均不保证或担保本出版物所含材料的准确性或完整性。

ACT, Additive Print, Additive Science, Additive Suite, AIM, Aqwa, Autodyn, BladeModeler, CFD, CFD Enterprise, CFD Flo, CFD Premium, CFX, Chemkin-Pro, Cloud Gateway, Customization Suite, DesignerRF, DesignerSI, DesignModeler, DesignSpace, DesignXplorer, Discovery Live, EKM, Electronics Desktop, Elastic Licensing, Enterprise Cloud, Engineering Knowledge Manager, EnSight, Explicit STR, Fatigue, FENSAP-ICE, FENSAP-ICE-TURBO, Fluent, Forte, Full-Wave SPICE, HFSS, High Performance Computing, HPC, HPC Parametric Pack, Icepak, Maxwell, Mechanical, Mechanical Enterprise, Mechanical Premium, Mechanical Pro, Meshing, Multiphysics, Nexxim, OptiMetrics, OptiSLang, PathFinder, Path FX, Pervasive Engineering Simulation, PExprt, Polyflow, PowerArtist, Q3D Extractor, RedHawk, RedHawk-SC, RedHawk-CTA, Rigid Body Dynamics, RMXprt, SCADE Architect, SCADE Display, SCADE LifeCycle, SCADE Suite, SCADE Test, SeaHawk, SeaScape, Siwave, Simplorer, Solver on Demand, SpaceClaim, SpaceClaim Direct Modeler, Structural, TGrid, Totem, TPA, TurboGrid, Twin Builder, Workbench, Vista TF, Realize Your Product Promise, Sentinel, Simulation-Driven Product Development

ICEM CFD为ANSYS公司授权商标，LS-DYNA为利沃莫尔软件技术公司注册商标，nCode DesignLife为HBM nCode的商标。所有其它品牌、产品、服务和功能名称或商标是其各自所有者的财产。

发挥 电气化 的巨大潜力

作者：Ahmad Haidari, ANSYS全球能源行业总监



利用ANSYS仿真推动电气化革命
ansys.com/electrification

为推动全球经济繁荣，亟需利用更清洁、更具可持续的能源以提供更多电力。与此同时，电气化系统的广泛应用正在改变交通运输与工业流程。凭借对电动汽车的关注度，汽车行业一直被媒体看作是电气化热门话题的重镇，然而，电气化趋势正在影响着每个行业。工程仿真发挥的重要作用，也让工程师可以了解并在产品设计中利用电气化的优势。

为了满足全球日益增长的能源需求，并且打消人们对环境和能源安全日益增长的顾虑，新的政策与监管措施正在技术创新的支持下，催生新的电气化革命。

汽车行业在这个过程中一直处于先驱地位，从推动内燃机到支持混合动力和纯电动汽车新的传动系统设计的变革，广受媒体与消费者的高度关注。通过从内燃机转向支持混合动力和全电动汽车的新动力总成设计，但是，新的电气化过程势必会影响各行各业。从多电机到工业设备和分布式发电厂，传统产品设计的电气化正在发生巨大变革，从而实现持续的研发投资以及产品迭代与创新。

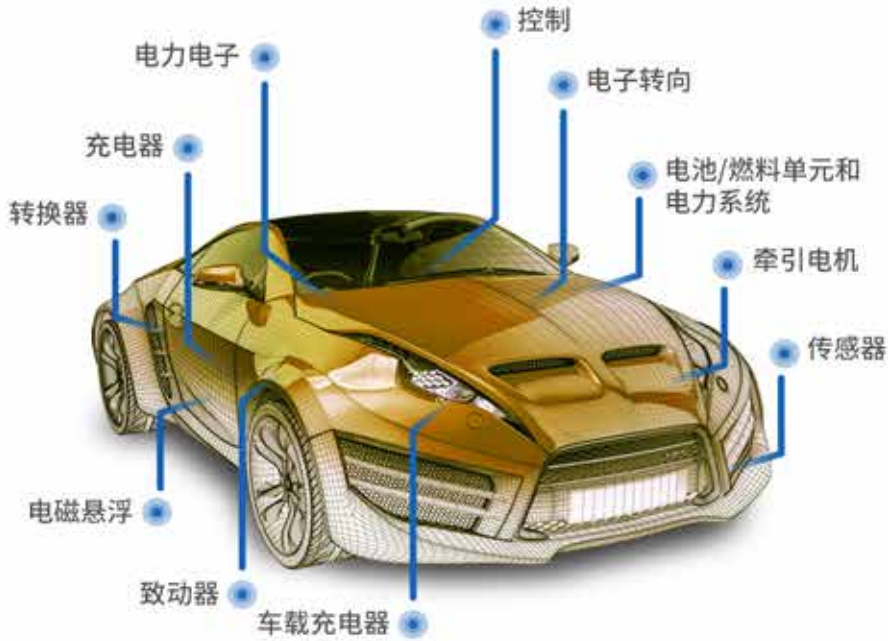
电气化有诸多优势。低碳能源，包括可再生能源、小型核电系统、柔性燃料和航改燃气等，发电能够以更低成本、更加环保地满足日益增长的能源需求。电气化系统通常质量更轻且更易于维护，同时可以实现更精准的控制。另外成本也低得多。根据《福布斯》资料显示[1]，海上风力发电的成本已经比2010年降低23%，与此同时太阳能光伏发电的成本也降低了73%。同样，电动汽车等系统中所用的电池组的成本也在持续降低。

“全球日益增长的能源需求加上人们对环境与能源安全的顾虑，催生了新的电气化革命。”

但是，电气化优势也伴随着挑战。尤其是，在与电气系统设计相关的五个关键领域中，电气化需要复杂的新工程方法：

- 电力电子
- 电机
- 动力电池、燃料电池等能源
- 机电系统集成
- 控制软件

每个应用领域都有其独特的工程问题，并且电气化团队都需要在这五大领域实现快速、低成本的创新。为了推出革命性的低成本、电气化产品，并在竞争中遥遥领先，各个行业正面临着与日俱增的压力。



新一代纯电动汽车

借力工程仿真，企业可以轻松实现快速、低成本、低风险解决方案。通过在日常产品研发中发挥仿真的强大功能，工程企业实体能够以低成本解决电气化难题，哪怕是最复杂的挑战。而且可以迅速推出创新产品，以确立市场领先地位。

现状：电气化一览

产品电气化革命无疑会影响每个行业，而率先行动的行业正取得巨大进步。

众所周知，汽车行业致力于研发具有广泛适用性的电气传动系统。汽车制造商面临的主要工程挑战之一是，在不影响安全性、里程、速度、加速性能或驾乘舒适性的情况下，设计一款低成本、轻量化、高能效的传动系统。此外，汽车工程师还投入大量精力来设计新型动力电池与燃料电池，其可以利用最新的材料和化学工艺，进而提高输出功率和蓄电池容量，同时缩减电池的充电时间、尺寸与重量。

除了传动系统设计之外，汽车工程师还面临其他整车技术难题：从加热/冷却和信息娱乐系统到转向与制动等关键任务功能。为了确保所有电气系统流畅、安全地交互，工程师必须考虑每一行软件控制代码以及每个安全系统功能。只有工程仿真能够在紧迫的研发期限内要求下快速解决多物理场、多功能性能问题。另外，仿真还可以在设计前期确保所有部件在集成到完整系统之后仍可达到预期性能。

本期《ANSYS Advantage》杂志介绍了一些成功案例，展示了ANSYS工程仿真技术对全球汽车行业的重要贡献。例如，大众汽车赛车运动的工程师利用ANSYS解决方案优化了纯电动赛车的电池冷却系统，从而助力大众汽车在2018年派克峰国际爬山赛上取得了决定性胜利，并创下了电动汽车性能新的世界纪录（参阅第10页）。

在航空航天行业，工程师不仅研发利用电气系统



电气化：实现更高性能
ansys.com/next-level-electrification

替代现有的液压与气动系统的相关技术，而且还在研发纯电动的推进系统。这有望为飞机的整体设计带来变革，并实现城市空中交通——借助小型支线飞机实现城际的短途低成本飞行。

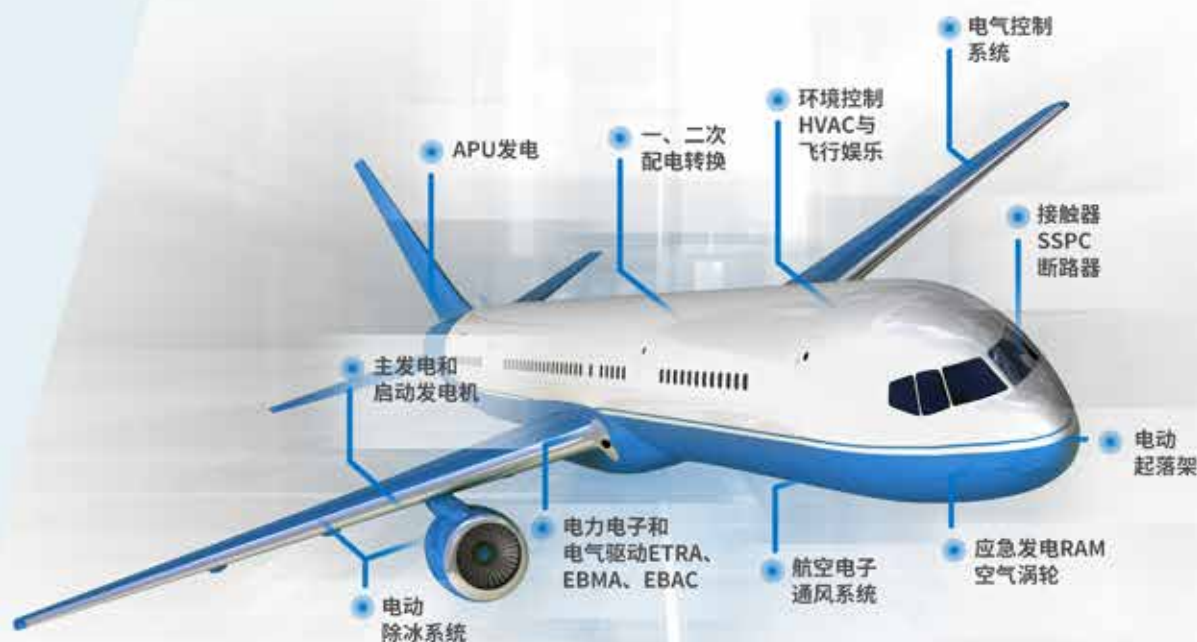
传统飞机将逐步被替代。如果使用电力推进系统，飞机外形将焕然一新。机翼内部可以安装多台电动机；更多地采用内置天线和传感器的轻量型复合材料，以替代电线来传导能量；采用电动着陆与滑行系统。为了将上述愿景变为现实，工程师需要实现前所未见的全新机械设计，重新研究气动效率、机械应力和电气系统优化。另外，还需要重新考虑控制软件的功能，因为在将所有系统与部件安全地实现集成的过程中，它们将发挥非常重要的作用。

与此同时，仿真技术能够提供研究所有复杂问题并实现真正创新的方法。例如，总部位于西雅图的初创公司Zunum Aero致力于研发电动飞机，希望利用短途航班连通小型机场。利用仿真技术，Zunum Aero的工程师能够快速了解低压风机、容错电机和电动控制器如何作为一个系统在实际工况下运行。欢迎阅读第18页了解更多信息。

**“各行业实现电气化
势在必行。”**

在电气化普及过程中，全球发电行业也在经历翻天覆地的变化。基于可持续、可再生能源的分布式发电的问世已在发电与配电方面带来一系列挑战。

随着“微电网”的不断普及，工程师有机会设计极具创新的新系统，可利用可再生能源进行本地发电，并且对现有的储存和分配电能技术加以改进。一个主要的工程挑战是优化整个发电与配电系统，包括其物理环境——因为每个系统的效率都取决于特定的天气与地理条件。除了重新考虑发电和配电网之外，另外还需要修改和优化风力涡轮机、涡轮叶片、变流器、发动机等组件与系统以及热泵、仪表、工业机械等附件。



新一代多电飞机

网络上一篇名为“延长太阳能逆变器的使用寿命”的独家报道中，匹兹堡大学的研究人员证明了仿真技术能够在解决区域化发电相关的工程难题方面发挥重要价值。他们利用ANSYS Twin Builder的功能，研究太阳能电池阵列随环境条件变化的温度动态，同时研究它们如何影响电池阵列的能量输出。目的是确保即使在无法避免的环境下产品系统仍然能够保持一致的性能。

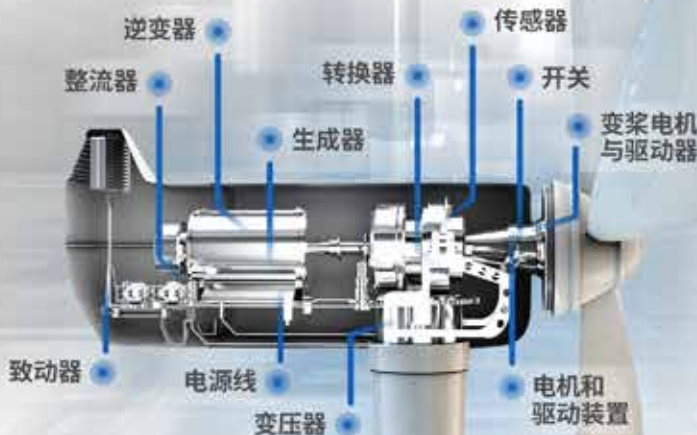
虽然经常被忽视，但是工业系统和机械仍有极大的全球电力需求。目前，泵等工业电动机预计消耗全球40%以上的电量。虽然在大多数情况下这些产品设计已经非常完善了，但是工程师仍需进行创新与改进。工程师正在设计新型电机、电驱动器、电力电子、机电驱动器、冷却系统、用户界面和嵌入式软件控制器，从而不仅能优化这些单独组件，还能改善完整机器的功耗与能效。

“业经证明，工程仿真在通过电气化把握新能源的未来方面，作用不可小觑。”

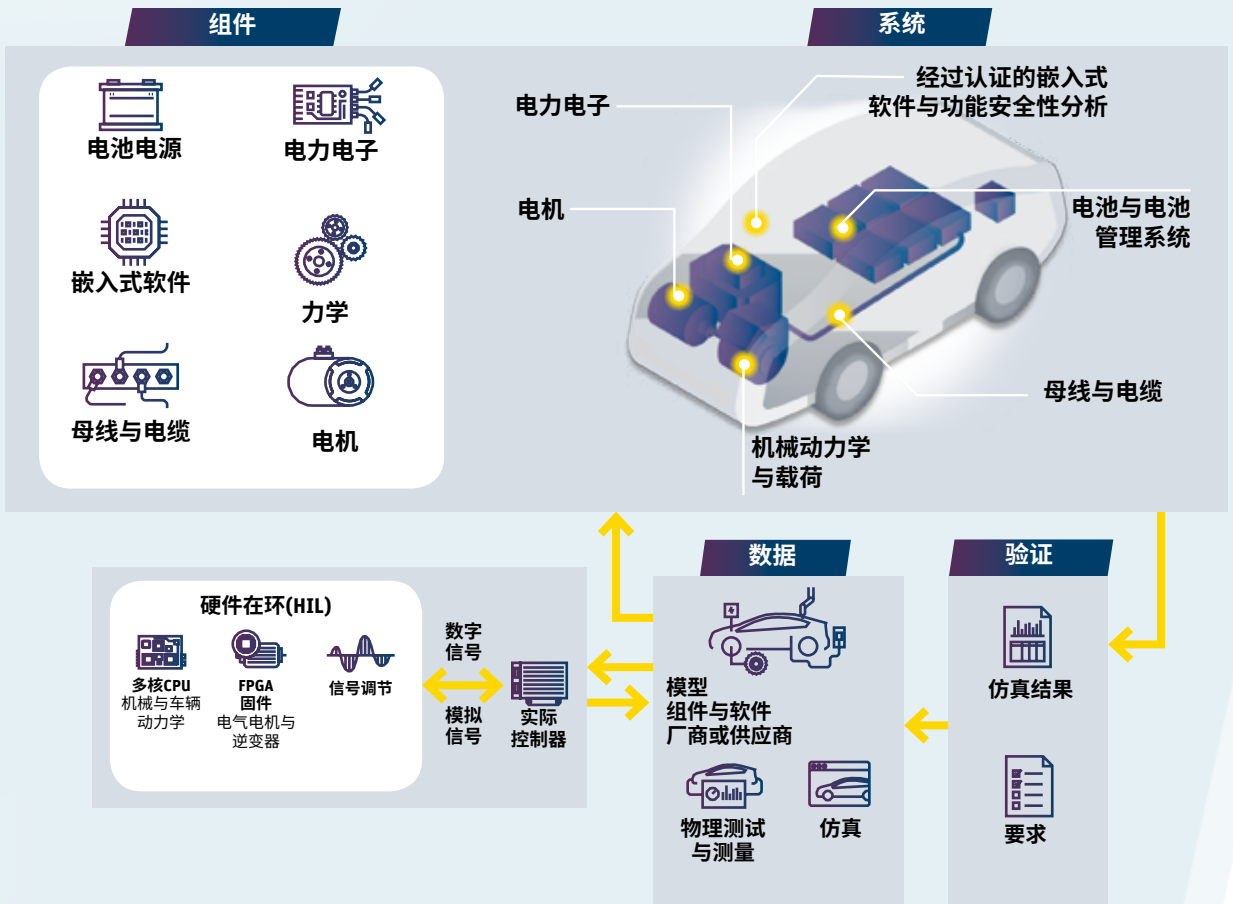
巴西公司WEG Energy是电力风轮机和发电机研发领域的领导者。WEG工程师采用ANSYS解决方案进行产品系统和独立部件的结构、电磁及热仿真。WEG志在推动全球工业机械市场的变革。敬请参阅第32页的完整文章。

利用仿真技术推动电气化进程

随着传统产品设计增加了电动功能以及新电源的出现，工程师必须解决各类新的技术难题。包括电池管理、热管理、降噪、防止电磁干扰(EMI)、确保电磁兼容性(EMC)、支持结构完整性以及最大限度降低现实工作环境中的机械损伤。另外，在创建和研究用于电动机械和电力电子的全新装置、材料和工艺时，工程师还需努力改善性能，提高效率，降低成本以及提高安全性。



新一代分布式发电



ANSYS电气化仿真环境

鉴于众多行业电气化工程挑战所及的广度、深度与技术复杂性，工程仿真具有前所未有的重要意义。目前，仿真解决方案能够解决与电气化相关的五大关键领域的工程难题：电力电子、电机、能源、机电系统集成和控制软件。

为了支持客户探索产品电气化，ANSYS可以提供机械、流体与电磁方面的旗舰工程仿真软件解决方案，进而在系统级仿真、功能安全性分析以及嵌入式软件研发和验证等功能支持下开展多物理场仿真。

由于ANSYS仿真解决方案具有强大的功能，加上其仿真产品研发团队数十载的经验与支持，目前许多全球领先的工程团队倚赖ANSYS的仿真技术来推动其电气化进程。

正如本期《ANSYS Advantage》杂志所探讨的，通过电气化来迎接全新的能源时代，工程仿真的作用不可小觑。我们希望本期杂志所介绍的客户成功案例可以让您产生共鸣，并考虑利用仿真促进电气化的可能性。▲

供稿人：ANSYS全球航空航天与国防行业总监Paolo Colombo，以及ANSYS全球汽车行业总监Sandeep Sovani。

参考文献

[1] Forbes, Renewable Energy Will Be Consistently Cheaper Than Fossil Fuels By 2020, Report Claims, forbes.com/sites/dominicdudley/2018/01/13/renewable-energy-cost-effective-fossil-fuels-2020/#27d6d1eb4ff2, (12/12/2018)

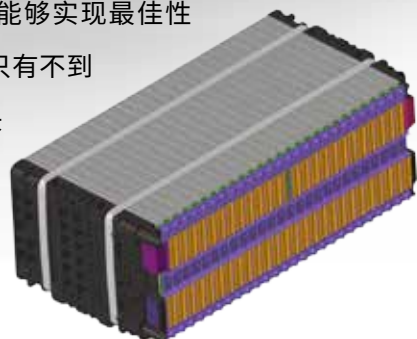
突破 电动汽车 的 性能极限



作者：Benjamin Ahrenholz
德国汉诺威大众汽车赛车运动
有限公司CAE部门主管

1年的时间来制造和测试全新的电动汽车。凭借坚定的决心和强大的创造力加上在多物理场仿真解决方案的帮助下，大众团队不仅打破了电动汽车记录，而且创下了包括内燃机赛车在内史无前例的赛车记录。

对于全球的工程师来说，研发一辆备战派克峰国际爬山赛的汽车是一项艰巨的任务。大众汽车赛车运动公司的工程师决定打造一款能够实现最佳性能的汽车，但是，他们只有不到



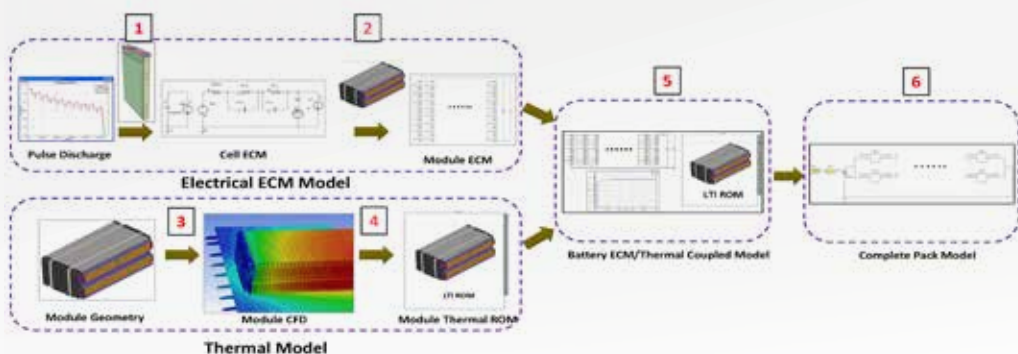
电池模组的几何模型

“通过采用ANSYS Twin Builder，大众汽车赛车运动公司实施了涉及电气与热参数的六步多物理场仿真过程，从而设计和验证电池模型。”

大众汽车赛车运动公司研发的电动汽车在2018年派克峰国际爬山赛上展现了令人惊艳的性能，同时也印证了一个道理，即凡事总有意料之外，而有的时候确实超出预期的惊喜。

在2018年6月24日第96届派克峰国际爬山赛举办前的9个月，大众汽车计划在今年打破电动汽车(EV)的最高记录，然后再对设计加以改进，在第二年打破内燃机汽车的总记录。然而，赛车驾驶员Romain Dumas驾驶大众I.D.R Pikes Peak赛车，以7分57.148秒不到8分钟的成绩完成了12.42英里赛道上的156个急转弯，这个成绩不但比电动汽车最高记录快1分多钟，而且以领先16秒多打破了总记录。

能够在如此短的研发时间内取得如此卓越的成绩，这要归功于大众团队的艰苦努力以及ANSYS的大力帮助。ANSYS在大众团队开展电池组的设计和验证工作时提供专业的咨询建议，这是赛车取得胜利的关键。



六步仿真过程示意图

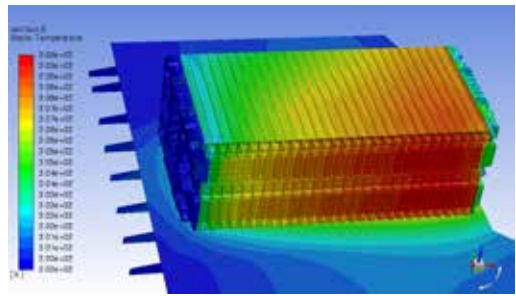
推进电动化

当大众在2017年启动制造和销售电动乘用车的长期战略时，他们希望尽快兑现这个承诺。不是在遥远的2020或2025年，而是在2018年就立即实现。在不断寻找合适契机的过程中，他们注意到2018年派克峰国际爬山赛，这场终点海拔高达14,115英尺的派克峰国际爬山赛计划在2018年6月进行。时间如此紧张！谁能够在9个月时间内重新设计一款电动汽车？大众汽车赛车运动公司挑起了这个重担，他们的赛车团队已经习惯了周而复始地改进汽车设计。

在决定采用现有赛车车身即法国的Norma Auto Concept打造的Norma M20之后，因此团队无需重新设计车身。不过，这种车身通常只能容纳内燃机，即使将发动机拆除，也只能为电池提供极为有限的空间。而且大众汽车赛车运动公司在电池设计方面的经验略不足，当ANSYS提议采用仿真技术帮助设计和验证电池模块时，大众汽车团队欣然接受了。



“大众团队不仅打破了电动汽车的记录，而且还创下了内燃机赛车等史无前例的赛车记录。”



电池模组的热仿真

电池设计的挑战

首先，电池模块必须储存足够的能量，才能够让Dumas在直线跑道上达到最高速度，同时也在比赛结束时还有剩余能量，而不是在终点线前就耗尽了动力。此次挑战涉及电池选型、电池组尺寸标定、电池组冷却与充电效率等问题。

这些参数的优化对于项目成功非常关键。电池组必须匹配底盘的可用空间，同时能够提供充足的动力，同时又要避免添加不必要的电池模块以增加车辆重量和降低速度。电池温度也会影响可用的能量——荷电状态(SoC)，因此关键是冷却方式，到底是采用风冷、水冷还是根本不采用任何冷却方式。当然，充电效率也非常重要，因为比赛规定：无论何种原因中断了比赛，如：道路上有动物通行，参赛团队都必须在20分钟之内准备好重新开始。

六步仿真方法

通过采用ANSYS Twin Builder，大众汽车赛车运动公司和ANSYS团队共同开展了涉及电气与热参数的六步多物理场仿真过程，从而设计和验证电池模型。第一步是研发单体电池的等效电路模型(ECM)。ECM可以简化复杂电路，有助于分析。

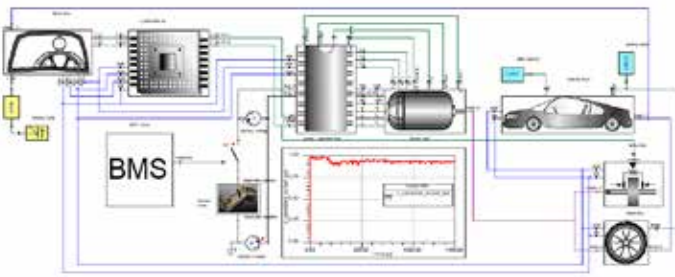
工程师采用脉冲放电测试数据获得了校正ECM所需的全部参数。第一步是针对单体电池进行仿真，用于检验创建的电池模型是否正确。如果有任何错误，验证过程都会发现相关问题。工程师在第一步中得出了结论：ECM是SoC和温度的函数。在Twin Builder中开展ECM仿真的速度非常快——只需数秒即可模拟出赛车在整个赛道上的一个完整驾驶周期。

第二步是把所有ECM电池串联在一起，构成一个ECM模块。

第三步是采用ANSYS Fluent开展电池模块热性能的计算流体动力学(CFD)仿真。进行CFD仿真是非常有必要的，因为电池的电气性能是温度的函数，而且需要热模型和ECM集成预测电池温度。

进行完整CFD分析所用的电池仿真模型通常非常庞大。因此，在导入了合理的电池模块几何模型并执行网格划分之后，工程师获得了包含6700万个单元的网格模型。由于计算量很大，因此采用100个CPU需要大约48个小时才能完成一个完整的驱动循环。

这给项目带来了新的挑战，因为最终必须在双向耦合多物理场仿真中同时运行ECM和热模型。而用一个CPU执行ECM仿真所需的数秒时间和用100个CPU运行热仿真所需的48小时之间相差太多，根本无法进行耦合。



采用ANSYS Twin Builder在车辆中集成电池

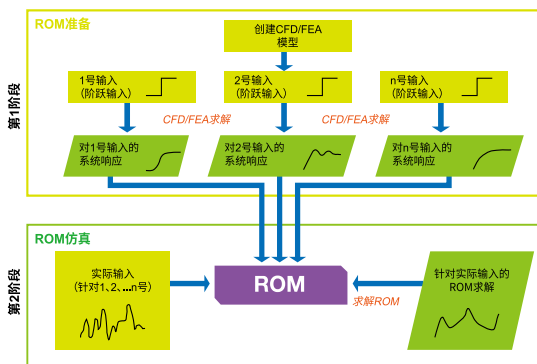
而第四步给出了解决方法。

工程师采用Fluent提取了系统的关

键热特性，帮助创建用于热仿真的降阶模型(ROM)。ROM模型具有线性时不变(LTI)特性，而且阶数小于完整CFD模型。它可以产生与完整CFD模型良好的关联结果，但是运行速度却要快10,000倍。

第五步，团队在Twin Builder中集成ECM和LTI ROM热模型进行双向耦合多物理场仿真。ECM可以预测电气性能和发热量。LTI ROM热模型获得发热值之后可以预测温度，然后再将温度值返回到ECM模型，以确定其对电气性能的影响。上述循环迭代过程会一直进行，直到仿真收敛求得一个解。

第六步是把单独的电池模块放入用于驱动整个电动汽车的完整10个模块电池组。大众团队采用第三方仿真工具完成了最后的系统级步骤。完整电池模型可以预测电压与电流的关系，以确保电池可以为目标任务提供充足的能量，在本项目中是实现为比赛提供足够的电能。此外，它还有助于预测电池系统的峰值功率输出，进而确定赛车的最高速度。它也可以预测电池温度，确保其最高温度在限值之下。



LTI ROM电池热提取

看到完整的仿真过程结果后，大众汽车赛车运动公司工程师相信电池组能够提供充足电能，帮助赛车成功抵达终点线，而且热性能在这种短程赛不会出现任何问题。凭借仿真技术而不是创建一系列物理模型成功解决电池难题，工程师也在紧迫的时间期限内顺利实现了目标。

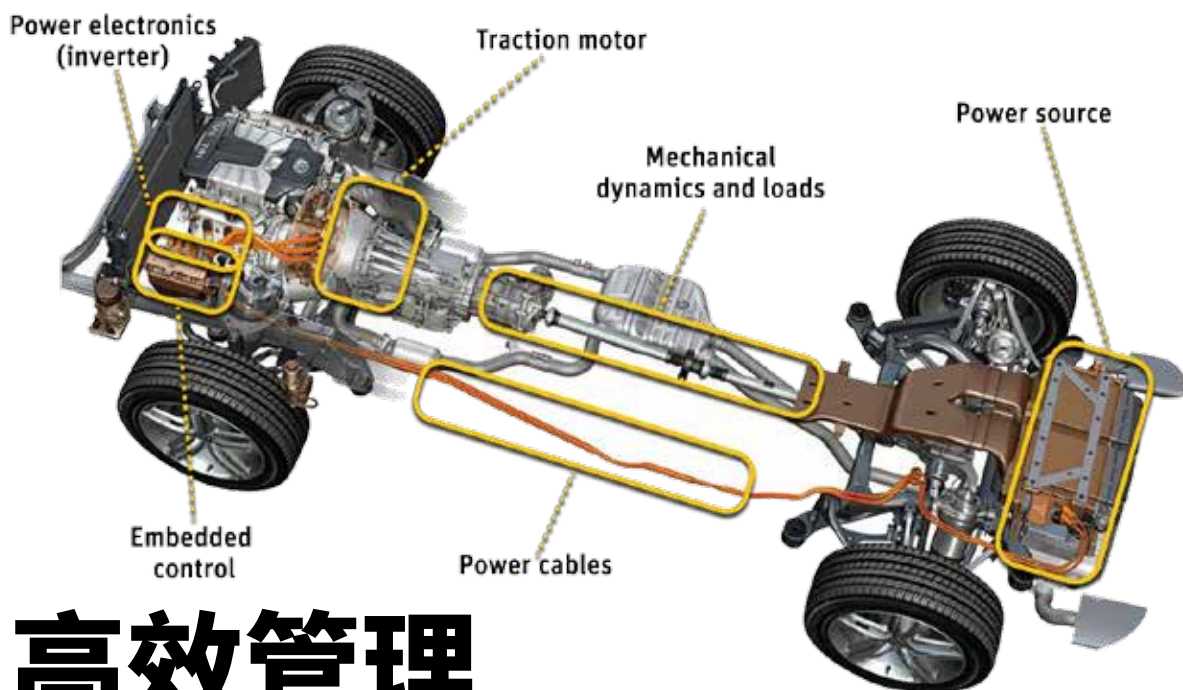
比赛当天，大众团队在位于汉诺威的办公室观看直播，当看到Dumas驾驶I.D.R Pikes Peak赛车爬上山顶，并且以创纪录的成绩冲过终点线时，大众团队为其欢呼雀跃。不过，取得这么好的成绩完全在团队成员的意料之中。从驾驶仿真器的试跑结果来看，完成比赛的平均时间是7分57秒，当情况一切顺利可能会更快，遇到突发状况则会稍慢。Dumas完成比赛耗时7分57秒——精准无误！

比赛当天，大众团队在位于汉诺威的办公室观看直播，当看到Dumas驾驶I.D.R Pikes Peak赛车爬上山顶，并且以创纪录的成绩冲过终点线时，大众团队为其欢呼雀跃。不过，取得这么好的成绩完全在团队成员的意料之中。从驾驶仿真器的试跑结果来看，完成比赛的平均时间是7分57秒，当情况一切顺利可能会更快，遇到突发状况则会稍慢。Dumas完成比赛耗时7分57秒——精准无误！

展望未来

在第一年就完成了两年后的目标，大众团队突然有点不知所措，对下一步该如何进行还在探索中。是再次备战派克峰尝试新的刷新记录？还是尝试打破另一个赛事记录？或是把目标转向在未来几年面向消费者销售I.D.赛车系列？

无论大众团队的下一站目标是什么，ANSYS工程师都感到非常欣慰，因为他们帮助大众汽车赛车运动公司取得了2018年派克峰的辉煌胜利，同时ANSYS仿真解决方案将时刻待命帮助大众团队解决未来的诸多挑战。🚀



高效管理 大型电池系统

作者：首席技术官**Marc Born**与ANSYS Twin Builder产品经理**Manzoor Tiwana**以及ANSYS首席顾问**Pierre Vincent**

电气化的工业应用（包括电动汽车和分布式发电）必然衍生出更多对电池的需求。这在快速发展的交通运输领域中尤为明显，如：电动汽车与无人机。而且在多电飞机的研发和能量储存中，电池的重要性也日益突出。这些电池并非单独使用，而是作为复杂组件使得大型系统能够处于最佳运行状态，以确保安全高效地

利用能源。电池管理系统(BMS)包括硬件和嵌入式软件，能够实时监测和控制充电电池的状态，以便为复杂应用提供可靠的动力。ANSYS面向嵌入式软件和功能分析的解决方案支持BMS研发，实现安全、可靠、高效地电池操作。

根

据Statista资料显示[1]，到2025年，电动汽车(EV)在整体汽车市场的占比有望从2017年的1%增长到14%。汽车制造巨头都争相研发电动汽车，希望在这个不断发展的市场中获得领先优势。随着电气化进程的日益深入，汽车逐步采用大型电池组来为引擎、空调和供暖以及信息娱乐系统供电，因此电池系统运行的监控与维护成为关键。工程师正在研发电池管理系统(BMS)，以确保这种复杂网络能够平稳运行，进而产生更多地对前沿仿真软件工具的需求。

BMS主要功能

在电动汽车中，BMS是由软件驱动的高级控制中心。它负责监控电池电压与温度，并保证正常的运行条件；

通过多物理场系统仿真方法进行电气驱动建模
[ansys.com/electrical-drive](https://www.ansys.com/electrical-drive)

“随着越来越多的系统依赖动力电池，仿真工具的组合运用对BMS的快速虚拟原型的设计具有重要意义。”

监控系统连接状态；测量电流；计算荷电状态(SOC)和健康状态(SOH)；平衡电池的输入输出；以及建立电池与动力系统或充电系统之间的连接等。

总之，BMS可以独立确保电池驱动的车辆在最佳性能条件下平稳、安全地运行，实现资源的最佳分配利用，而且能够提前向驾驶员告知潜在的问题。如果遭遇极端情况，BMS可通过物理方式断开系统中的电池，以防止严重故障发生可能危及车辆乘员安全。

设计如此复杂的控制中心面临着艰巨的挑战。ANSYS解决方案可以为工程师在设计研发BMS的整个过程中提供帮助，甚至能够在BMS操作环境中实现系统的实时管理。ANSYS电池管理解决方案包含基于物理场的仿真，使用ANSYS Twin Builder、ANSYS Medini analyze以及直接面向BMS的ANSYS SCADE嵌入式代码为BMS开发系统级电池视图。

针对电池安全性的ANSYS Medini analyze与SCADE嵌入式代码

ANSYS Medini analyze可根据不同行业的不同标准进行关键的安全分析程序，包括危险与可操作性分

析[HAZOP]、故障树分析[FTA]、失效模式和影响分析[FMEA]以及失效模式、影响及诊断分析[FMEDA]。它可以校核汽车系统的BMS软件是否符合ISO 26262道路车辆功能安全标准。

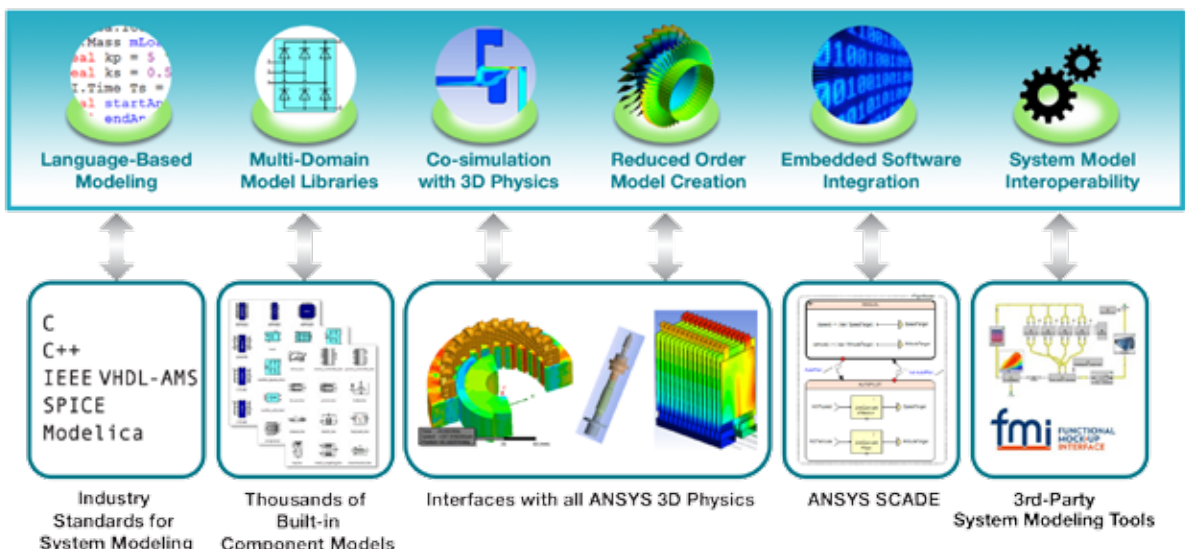
安全分析首先要识别和描述BMS的功能与故障。一旦发现故障，则进行危险和风险分析(HARA)，以便确定汽车安全完整性等级(ASIL)、相应安全目标和安全要求，从而确认危险事件及其安全性影响。某些BMS功能要求严格的研发过程，标准要求达到ASIL D级，这是ISO 26262最高的安全完整性等级。

此安全等级同时也对相关软件提出了非常严格的安全要求。

BMS一般具有三个架构组件：

- 包含多个独立电池的电池组（电池堆）
- 配电箱
- 电子控制器(ECU)，包含用于监控电池电压、温度与电流的软件控制器

采用ANSYS SCADE Suite可以自动生成和检验ECU中的嵌入式软件。SCADE产品系列为关键嵌入式软件提供模型化研发环境，如：飞行控制与引擎控制系



基于ANSYS Twin Builder的系统建模

统。SCADE Suite通过简化关键控制应用程序设计，自动执行验证，生成限制/认证代码与文档，从而大幅降低项目认证费用。此工具生成的嵌入式软件可经过各种行业标准的认证，包括面向航空航天行业标准的DO-178C A级、面向汽车行业的ISO 26262:2011 ASIL D级以及面向电子系统功能安全性的IEC 61508 2010 SIL 3级。



基于SCADE Rapid Prototyper的软件仿真

面向电池优化的多物理场仿真

目前最流行的电池是锂离子技术电池，不过研究人员也一直在探索能效更高、防热和阻燃能力更强的材料。

在探索材料系统时，科研人员必须重新研究每个材料系统的基本性能。由于材料都具有独特的热、结构、电磁与电化学性能，因此需要采用ANSYS多物理场解决方案彻底模拟电池系统。OEM电池制造商及其供应商都使用ANSYS Fluent以解决电池设计、热管理和热失控等问题；采用ANSYS Mechanical处理加热与冷却的温差产生的结构应力与应变；采用ANSYS Twin Builder进行电池组运行的系统级建模。这种完整的解决方案可以帮助工程师解释电池设计、生产和运行过程中的各种物理变化。

Fluent可以基于多尺度多维度(MSMD)方法提供3D计算流体动力学分析。这种方法适用于从材料尺寸 (10^{-9} 米)、电极对尺寸 (10^{-6} 米) 到成品电池组尺寸 (10^{-1} 米) 的CFD仿真，涵盖10个尺度量级。Fluent包含三种不同的电化学反应模型，可用于优化电池系统的发电能力。

此外，Fluent还可用于分析电池与模块之间的热流动，以确定方形蓄电池组或者圆柱形蓄电池组在各种强制冷却条件下的温度。我们发现控制锂离子电池的温度至关重要，有助于防止其因过热而发生火灾。

电池在运行过程中各部件的温度发生变化，材料由于不同的热膨胀系数会产生膨胀或收缩。材料的膨胀与收缩会导致电池组件产生压缩或拉伸应力，若其诱导应变超出给定材料的临界水平有可能发生变形或失效。通过结合使用Mechanical与Fluent，工程师可开展双向多物理场仿真，以追踪温度对结构的影响，从而确保电池组件能够承受产生的热应力。

在极端情况下，如：电动汽车发生碰撞时，应当考虑电池的热滥用。首先是发生结构失效，这会降低电池受影响区域的接触电阻。ANSYS Mechanical可以模拟这些情况下的结构失效，并评估新的设计能否预防失效。然后，受损电池中的电化学反应会产生热量，在发热率超过散热率的情况下有可能发生热失控。Fluent仿真可以帮助工程师设计一款能够防止此类热滥用的电池。同样，为了全面了解电池在意外碰撞情况下的结构、热与电化学反应，工程师需要采用Mechanical与Fluent进行多物理场耦合仿真。

最后，当电池系统的所有组件做好连接准备之后，ANSYS Twin Builder可以模拟电池组件如何进行协同以达到最高效率。最佳的设计组件并非能产生最佳系统。当这些组件作为完整的集成系统进行通电、感应和控制时，它们的表现可能与作为单独组件接受测试时不尽相同。Twin Builder可以执行涵盖整个连接系统的闭环测试，以检测并纠正所有组件的缺点，从而创建一款能够以最高效率运行的电池系统。

“BMS可独立确保 电池供电车辆在最佳性能下 安全平稳地运行。”

在电池中，ECU负责监控电池的运行状况，如：电池电压、温度和整个电池组的电压与电流。然后，ECU向外部组件发送相关数据，如：SOC与SOH（电池当前状态与理想状态进行对比），此外它也会发送冷却与发热信息。

BMS可以根据这些输出信息执行以下操作：(1)调节参数以确保电池在安全运行区(SOA)内运行，即在SOA的电压与电流状况下电池不会发生自损；(2)在出现碰撞情况时执行电池的紧急断开命令。如果BMS确认SOC或SOH超过预期边界，它会发送警告，并且把系统切换到安全状态。

面向完整系统仿真的ANSYS Twin Builder

最后一步是采用ANSYS Twin Builder执行完整的闭环系统级电池组仿真，以确保所有组件协同运行时能够满足设计目标。利用Twin Builder，工程师可以创建多物理场模型，以便模拟电池电气和热行为等不同的物理效应，从而设计和验证电池的系统模型。

利用Twin Builder，工程师可以确定关键的设计参数，如：电池系统输出功率峰值、电池充电与放电速率、运行发热量以及发热量对电气性能的影响。Twin Builder可提供一个基于Modelica的库，其中包含四个面向电池等

效电路模型(ECM)的模板，该模板是SOC和温度的函数，可用于预测电池性能。

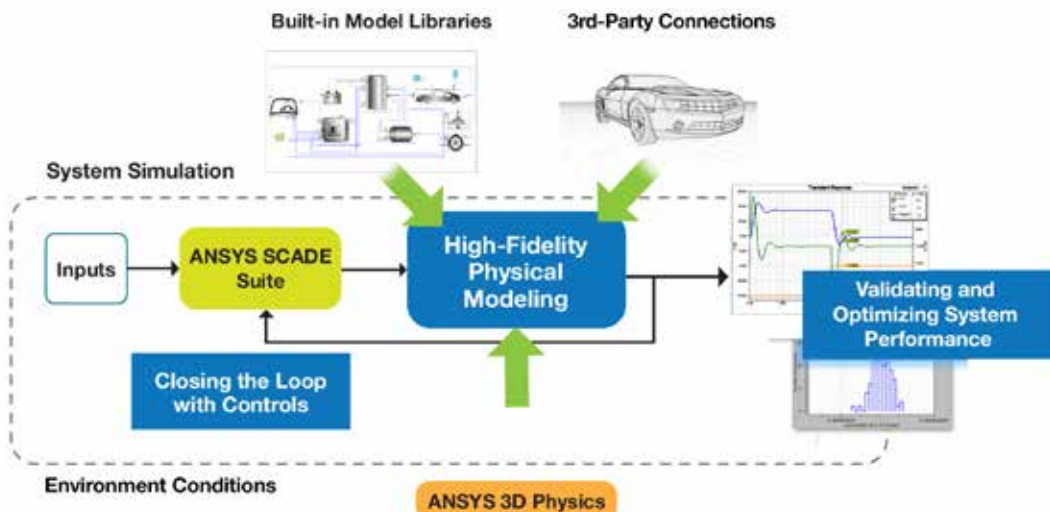
在电池电路集总参数模型过大的情况下，Twin Builder可以利用ANSYS物理场求解器的功能优势创建降阶模型(ROM)。ROM可用非常小的尺寸来表示全尺度3D模型，可以在几分钟或数秒内完成仿真，并且不牺牲精度，因此是系统级建模的理想选择。电池组的ROM热模型可以和基于ECM模型的Twin Builder耦合，从而确定热量对电气性能的影响。

ANSYS完整的BMS解决方案

ANSYS Medini analyze可以确保BMS设计方案的安全性，ANSYS SCADE Suite可以生成和验证嵌入式控制软件，而ANSYS Twin Builder使工程师能够测试与验证电动汽车电气系统的整体效率与可靠性。随着未来有越来越多的系统依赖电池动力，仿真工具组合对BMS的快速虚拟原型设计具有重要作用。▲

参考文献

[1] Statista. Projected U.S. electric vehicle market share between 2017 and 2025. [statista.com/statistics/744946/us-electric-vehicle-market-growth/](https://www.statista.com/statistics/744946/us-electric-vehicle-market-growth/) (01/31/2019)



基于ANSYS Twin Builder的闭环测试

飞机推进系统的 电气化发展

为了提供适合短途旅行并且能够降低排放的飞机，Zunum Aero正在利用电气化打造混合电动系统。研发此类多电飞机的挑战在于，需要使用工程仿真技术实现性能目标并减少测试时间与成本。

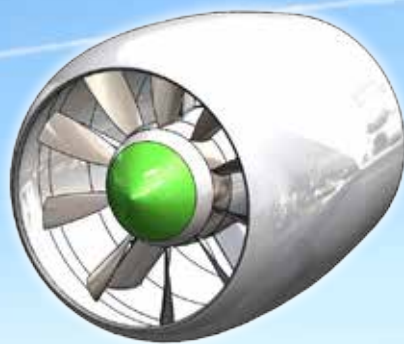
作者：Patrick Noble，美国西雅图Zunum Aero推进系统主管工程师

美国的13,500个机场给短途空中旅行带来了便利，在短时间内驾车到就近的机场即可乘机出行。

Zunum Aero决定借助电动推进技术缩小巨大的区域交通差距。在波音HorizonX、Jet Blue Technology Ventures和华盛顿州清洁能源基金的支持下，这家公司希望研发一款和当今喷气式轴辐型飞行模式截然不同的门到门空运系统。Zunum Aero的交通枢纽中配备了能够降低排放与噪音的独立混合电动飞



“在20多年的职业生涯中，我一直依赖
ANSYS Mechanical产品研发航空航天领域所需
的高优化度解决方案。”



◀ Zunum Aero的静音电动
推进器可以提供针对航
程优化、配备一体化电
机的静音风扇。

机，最终将覆盖到5000个美国二级机场和5000个境外机场。世界各国都在把电气化纳入其低能耗、低排放与低噪音项目中，如：美国的CLEEN项目和欧洲的“清洁天空”项目。

混合电力推进器

为了实现飞机的性能目标，关键要采用高效的空气动力学设计优化低噪音轻量型混合电力推进系统。为了给地面测试提供推进器（导管风扇原型），Zunum Aero利用ANSYS Startup Program获得的ANSYS软件套件中多个产品对组件性能进行仿真。

通过准确采集各个组件的结构、空气动力载荷和

热载荷行为，Zunum Aero可以在各方面制定正确的方案——从大型结构问题（如：推进器尺寸）到详细的系统接口和接头行为等。在进入产品研发的硬件与测试阶段之前，仿真能够可靠地证明初步设想的可行性，提高效率并优化设计。

结构测试与热管理

Zunum Aero静电式推进器把低压风扇、一体式容差电机和控制器相结合。为了解各个推进器组件在各种工作参数、运行条件和失效模式下如何运行，



推进航空业电气化发展
ansys.com/electrifying-aviation

Zunum Aero采用ANSYS Mechanical、ANSYS Fluent和ANSYS CFX软件开展行为仿真。

在位于华盛顿西雅图附近的Zunum Aero测试中心，设计工程师采用ANSYS Mechanical分析了推进器组件的结构完整性。此软件不但使工程团队能够进行稳态仿真、模态仿真和结构动力学参数仿真，而且还可以帮助工程师了解各个组件的完整响应以及协同运行情况。另外，工程师采用ANSYS CFD模拟了推进器内部和外部流动，以完成空气动力学压力损耗估算和设计优化。

由于热量会直接影响产品可靠性，因此电气组件的温度必须保持在规定范围内。Zunum Aero采用ANSYS Fluent实现热管理。工程师进行CFD流体流动与热传递分析，以预测温度变化与热消耗，设计冷却系统。

虽然该公司仍然处于研发的初始阶段，为实现最佳整机性能进行设计、优化和集成各种热系统，但是Zunum Aero资深首席工程师Dave Bedel表示，如果没有ANSYS仿真软件，他们远远走不到这一步。

Bedel指出：“ANSYS Mechanical的脚本编辑和参数化分析功能对于我们研发Zunum Aero静电式推进器非常重要。在20多年的职业生涯中，我一直依赖ANSYS

Mechanical产品研发航空航天业所需的、高度优化的解决方案。”

开展多物理场仿真

交付推进系统并非单学科任务。因此，Zunum Aero动力与推进部门的工程师需要开展协作，对所有可能的设计方案进行探索，从而研发一款能够满足推进需求、具有最低总成本的可交付飞机。

凭借兼容性和集成功能，ANSYS软件中实施的多物理场评估可用于加快设计优化。通过仿真多个设计方案，设计团队无需在测试方面浪费时间或资源，即在虚拟环境的概念验证层面分析更多组件。事实上，如果不采用仿真，预计飞机验证工作可能需要多一倍的时间。不仅如此，ANSYS还帮助Zunum Aero在硬件测试方面节省了数百万美元的资金成本。

高效的短途飞行

Zunum的愿景是在成千上万个机场中实现更少的旅行成本，降低噪音，减少对附近居民的干扰，同时减少排放，以确保更健康的环境。在ANSYS仿真软件的帮助下，Zunum很快将实现其伟大目标，即打造一款获得认证的混合电动飞机。▲

**“如果不采用仿真，
预计飞机验证过程可能
需要多一倍的时间。”**



最低 阻抗 路径



作者：**Bernardo Nogueira Giarola**，EMC产品分析师；**Gabriel Alexandre Terra Almeida**和**Thiago Lucas de Oliveira**，巴西Betim菲亚特-克莱斯勒汽车公司实习生以及**Juliano Fujioka Mologni**，巴西圣保罗ESSS公司技术顾问

当闪电击中汽车时，金属车架提供了一条阻抗最低的接地路径，从而避免车上乘客受到伤害。但是闪电可能会流经车架或者车辆的电气系统，这有可能破坏敏感元件、甚至融化焊点。随着车内电子器件不断增多，闪电防护功能变得前所未有的重要。在ANSYS南美渠道合

作伙伴ESSS的支持下，菲亚特-克莱斯勒汽车公司采用ANSYS电磁场仿真软件模拟了雷击场景，并预测雷击对车载电子装置造成的影响，以便在未来的汽车设计中提高电子装置的防损害能力。



前，汽车依赖电子系统保障其安全性、可靠性，甚至功能性。电子系统一旦发生损伤，不但会造成使用不便，有时甚至会带来危险。全球的雷击事件大约有70%都发生在热带地区，因为这些地区更容易形成可产生雷暴的云层。巴西菲亚特-克莱斯勒汽车公司(FCA)尤为关注汽车的雷电防护功能，因为巴西是全球最大的热带国家，数据显示巴西每年大约会发生8,000万起雷击事件。而测试雷击下车辆性能的成本高昂，因为工程师除了要租赁专用测试设施，还需创建可能在测试中损毁的原型。因此FCA和ESSS的工程师开展合作，针对典型雷击对菲亚特Mobi城市车的影响进行仿真，该项目并非标准汽车研发过程的环节。



Maxwell中的雷击仿真
[ansys.com/simulating-lightning](https://www.ansys.com/simulating-lightning)

“工程师采用ANSYS Maxwell
计算了雷电击中车辆不同部位
的几率。”

雷电与汽车

大多数雷电都是由于云层底部的大量负电荷和地面正电荷之间的放电产生的。当云层底部聚集了足够多的负电荷，被称为梯级先导的负电荷流就会冲向地面，地面上的正电荷受到梯级先导的吸引，会向上流动。当上下的先导电荷相遇，就会形成明亮的闪电。

闪电一般流过具有高电荷密度的导电结构，如：尖端和尖角，因为它会选择电阻最低的路径。这就解释了为什么避雷针通常做成尖头金属棒，以及为什么汽车天线会经常被雷击。闪电流经车身时会产生感应电场，而电场会在电子控制单元(ECU)的连接线中产生电压与电流，这就有可能损坏一个或多个作为“汽车大脑”的ECU。

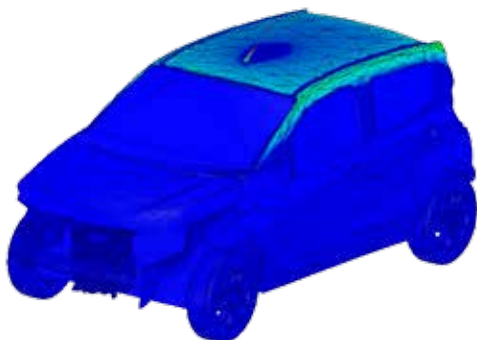
雷击在汽车内部产生的电场与车身的几何结构及材料导电性息息相关。如果结构是完美球体，则形成电荷的电子会在其外表面均匀分布，从而相互抵消，最终不会在球体内部产生任何电荷。对于车辆而言，它具有更复杂的几何结构并且各个部件（如：轮胎与挡风玻璃）的导电性各不相同，遭遇雷击时会产生极大的内部电场，而要测定这些电场的工作却十分棘手。

物理测试绝非理想的解决方案，因为在全球只有少数几家机构能够模拟雷击。这些机构的测试费用高达数百万美元，而且还需要打造一款价值数十万美元并且极可能损毁的原型车。

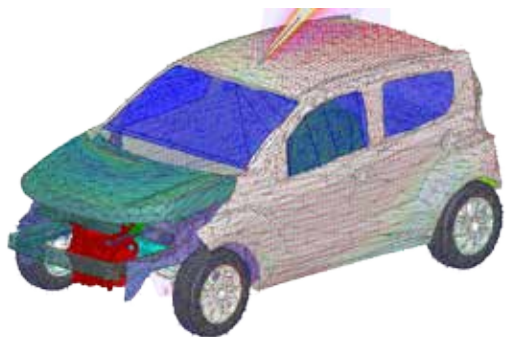


多次雷击

[ansys.com/lightning-strikes](https://www.ansys.com/lightning-strikes)



静电仿真：电磁场中车辆各个部分的静电电荷分布。

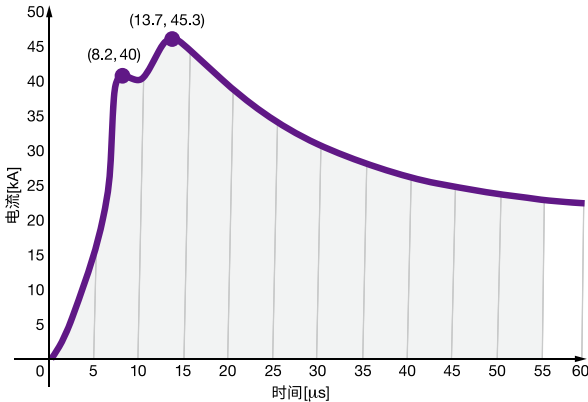


瞬态仿真结果：雷击在车辆表面产生的电流。

确定闪电潜在的击中目标

首先，FCA和ESSS的工程师采用ANSYS Maxwell静电求解器，计算了闪电击中车辆不同部位的几率。他们在模型顶部设置了100库仑电荷，并在底面设置了0库仑电荷，从而生成覆盖整个求解域的电场。当他们先求解不带车辆的模型时，电荷在整个求解域上是均匀分布的。

然后，工程师添加了菲亚特Mobi汽车的CAD模型，并根据部件供应商提供的数据和公开数据规定所有部件的导电性能。他们在金属部件之间创建了低阻抗连接。他们把更改后的模型添加到求解域中，并且重复进行Maxwell仿真。结果发现，车辆模型会导致电荷分布扭曲，而且在车辆的尖端和突出位置形成了明显的强电场，而闪电击中模型部位的几率与其所带电荷量成正比。FCA和ESSS的工程师成功证实了天线是汽车中最易遭受雷击的部位。



根据放电统计数据在瞬态仿真中对车辆施加脉冲。

此外，他们还创建了从地面返回到云层的低阻抗回路。

从仿真结果可以得到闪电在车辆外部形成的电流和电压，以及电荷流向地面的路径。另外，仿真还显示了电流产生的电场与磁场以及由此在车辆部件（包括线束）产生的感应电流。与预期的一样，在尖端和边缘等几何特征会产生最大电流。然而，为了研究车身的几何结构和导电性对线束电压与电流的影响，工程师还需要开展3D瞬态电磁场仿真。

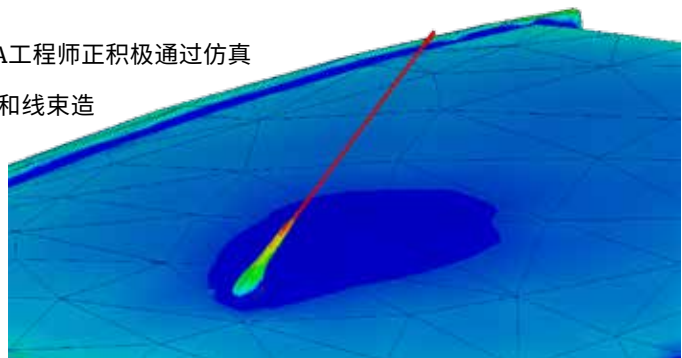
改善车辆设计

由于能够模拟雷击造成的影响，工程师借此研究能够降低车辆损坏程度的改进计划。例如，他们计划研究提高轮胎和挡风玻璃等高电阻部件的导电性能否减弱车辆内部的电场。FCA会尽快对不同导电性的部件进行仿真，然后与供应商一起确定具体的改进措施。另外，工程师还计划研究线束的改进，如：改变绞合电缆每英寸的匝数、采用不同的线束屏蔽方式以及在屏蔽部位和底盘之间安装不同的连接点。

汽车电子装置的雷击防护没有既定标准，不过FCA工程师正积极通过仿真寻找解决方案，降低雷击对汽车电子控制单元、天线和线束造成的影响。

仿真使工程师能够准确预测在雷击过程中线束和车辆其他部件产生的电流，从而评估潜在的设计改进方案，而且花费的时间和费用仅为传统物理测试的一小部分。⚡

天线是最可能遭受雷击的部位。



新一代 电动汽车电机—— 悄无声息，静“心”处理

新一代电动汽车牵引电动机倾向于选择开关磁阻电机(SRM)，因为SRM成本低、效率高而且能够在高温以及其他恶劣环境下运行。然而，SRM容易产生转矩波动，这会在车辆中产生极大的噪音。Continuous Solutions公司采用ANSYS Maxwell电磁仿真软件将SRM的转矩波动降低了90%，整体噪声降低了50%，新的SRM有望推动农业机械、矿业机械以及民用与军工牵引车辆的电气化进程。

作者：**Nir Vaks**
首席技术官；
Nyah Zarate，首席执行官，
美国波特兰
Continuous Solutions公司



开

关磁阻电机(SRM)的概念已经存在了大约180年，但是，由于它需要复杂的控制电路，直到最近才被偶尔用于工业用途。过去的十年来时间里，高性能微控制器集成电路和计算密集型控制战略的出现已经提高了SRM的可行性。剩下的挑战是：SRM在运行过程中容易产生极大的噪声。对于豪华乘用车、战术车辆以及在恶劣环境中工作的其他机械，这种程度的噪声让人难以接受。

借助ANSYS初创公司计划，Continuous Solutions的工程师在ANSYS Maxwell电磁场仿真软件中创建假设SRM设计方案的虚拟原型，成功解决了上述挑战。他们在Simplorer和Maxwell的系统仿真功能中模拟控制算法，然后通过调节算法来消除转矩波动，这样可以显著降低SRM的噪声和振动。

“与同类永磁电机相比，新型电机成本锐降20%，最高工作温度提高50%。”

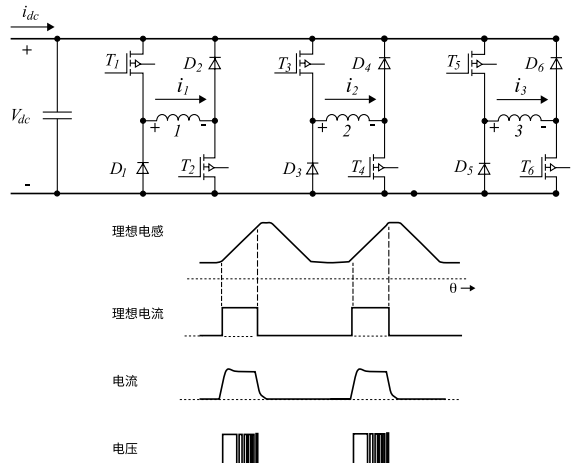
SRM的基本原理

SRM运行的根本是磁通。磁场与电流类似，总是通过磁阻或磁通量最低的路径传播。这也解释了为什么钢铁等低磁阻材料具有强的磁性。SRM定子附有相绕组，转子则采用具有高、低磁阻区的低磁阻材料制成。在定子相绕组通电时，转子的磁阻会产生切向磁拉力，使转子磁极（低阻抗峰值）与最近的定子磁极对齐。通过连续地接通和断开定子绕组，定子磁场能够驱动转子转动则SRM也就保持旋转。

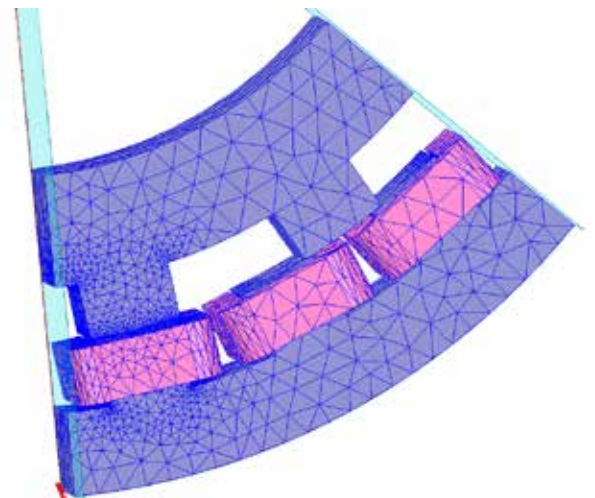
SRM转子可由固体钢块或薄钢冲压件制成，且配有安装磁极的凹槽。与传统永磁式电机相比，消除永磁体和转子绕组可以大幅降低SRM的制造成本。转子不会出现电流，因此不需要直流电机中的换向器和电枢线圈，也不需要感应电机中的金属鼠笼。此外，消除永磁体和转子绕组使SRM能够在更高的环境温度下运行，这对于车辆牵引电机而言是一项难得的特性。

转矩波动挑战

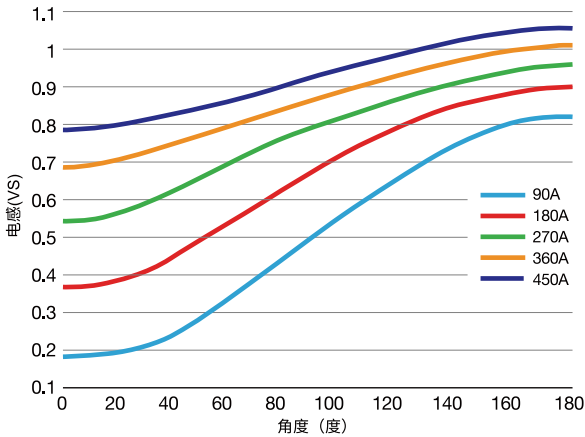
设计SRM的最大挑战之一：每个相位的电感都与转子磁极对齐角度成正比，这样定子-转子相互作用造成的结构变形和磁转矩谐波会产生严重的振动与噪



非对称桥式变换器电路图（顶视图）和最终产生的SRM波形



ANSYS Maxwell中的SRM几何结构模型



ANSYS Maxwell的结果表明, 在不同载荷条件下电感是转子位置的函数。

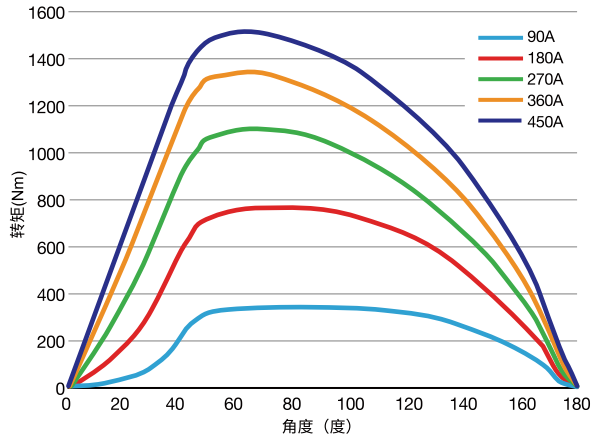
声。而电感是转子位置的函数, 它易产生相对剧烈的变化而且需要非线性控制, 这就加剧了上述挑战。

这些相互作用表现为转矩变化, 即转矩波动。另外, 转子或定子失衡等机械问题也会造成转矩波动。转矩波动的最终结果是导致振动, 而振动将导致噪声而且也会缩短电机的使用寿命。

在进行新式牵引驱动电机设计时, Continuous Solutions的目标是创造一款比传统永磁电机成本更低、工作温度更高的电机与传动装置, 同时在效率、功率密度和噪声指标上也不输于永磁电机。Continuous Solutions的工程师首先采用内部定制的多目标3D电磁等效电路(MEC)优化程序, 以加速探索设计空间的进程并确定可行设计以进行深入研究。该程序采用遗传算法探寻各种设计参数的, 如: 定子齿高、激励电流大小和磁极对数, 同时不断地进行设计目标的改进, 如: 更高效率、更低重量。

电机设计建模

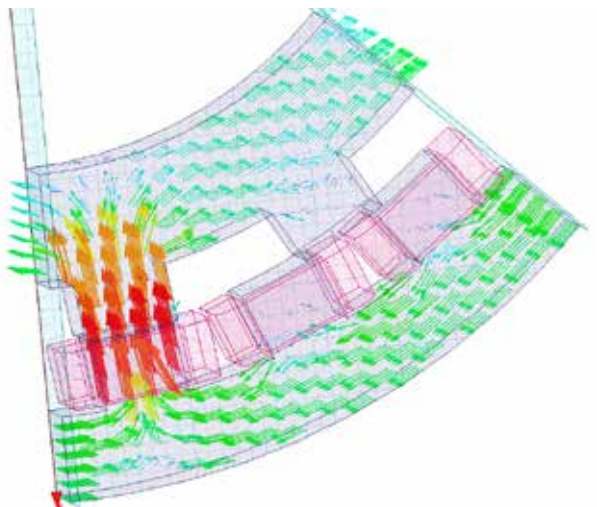
Continuous Solutions工程师研发了几种的详细模型, 模型的可行设计点通过ANSYS Maxwell的优化程序加以确定。他们采用一种基于模板的设计工具ANSYS RMXprt, 从而实现电机几何结构的快速定义。他们采用RMxprt的参数化设计功能来定义SRM磁心, 无需再绘制电机组件。他们输入磁心参数: 极数以及绕组匝数和规格, 然后创建终端, 并分配绕组。工程师沿



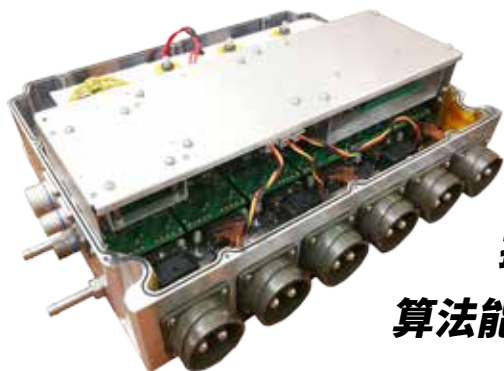
ANSYS Maxwell的结果表明, 在不同载荷条件下转矩是转子位置的函数。

电机的Z轴复制了绕组。接下来, 他们通过指定磁极对数、添加绕组并为绕组分配端子来定义定子结构。接着定义了电机壳。

然后工程师把3D模型及其运动与机械设置、定子与转子钢材中的磁心损耗、绕组和电源设置等数据直接发送到Maxwell, 以便进行详细的有限元分析。Maxwell计算了SRM的性能数据, 如: 转矩与转速、功率损耗、气隙磁通、功率因数与效率。Maxwell还生成了一份转矩报告, 报告表明电机运动转矩(N.m)是旋转角的函数。为了提供更详细的诊断视图, 他们绘制了计算中当转矩达到峰值或谷值时, 转子与定子横截面的磁通量曲线。这些曲线表明, 噪声的主要来源之一是定子通电时每个极对产生的吸引力会把定子



ANSYS Maxwell绘制的转子横截面磁通量曲线



Continuous Solutions公司采用
转矩波动消减技术的100kW
SRM MILSPEC控制器

“**工程师可同时改进电机设计和
控制算法，直至集成电机与控制
算法能满足所以目标。**”

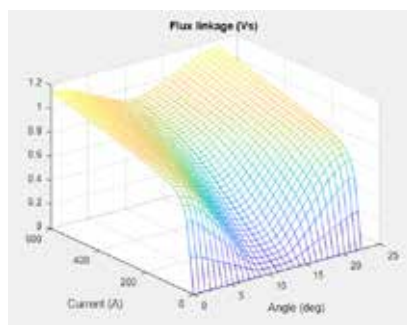
挤向转子。解决这个问题的一种方法是提高定子强度，但这样会提高电机成本与重量。

控制算法设计

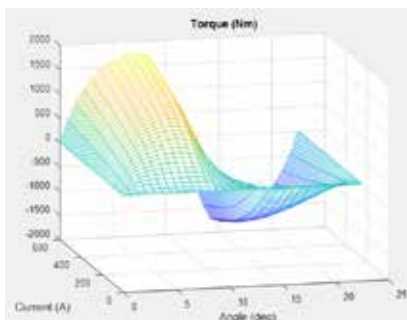
Continuous Solutions公司并未探索机械解决方案，而是设计了一种控制算法，该算法能够在精确的时间内把电流注入到不活动的绕组，以便从活动绕组两侧消除偏离力矢量。他们采用内部分析工具设计了控制算法，并把它嵌入到Simplorer的常规SRM反相器中。然后他们把Simplorer反相器与电机的ANSYS Maxwell模型进行连接，并且用该控制算法驱动电机。Continuous Solutions工程师通过调整转矩的时间历程和磁通量曲线关系消除转矩波动。由于电机倾向

于往左侧摆动，则控制器就输入向右摆动的信号消除自然运动和转矩纹波。与此同时，工程师在Maxwell中评估了多种设计迭代版本，最终确定了电机设计方案。通过一系列迭代，工程师同时改进电机设计和控制算法，直到集成电机与控制算法能满足所有目标。

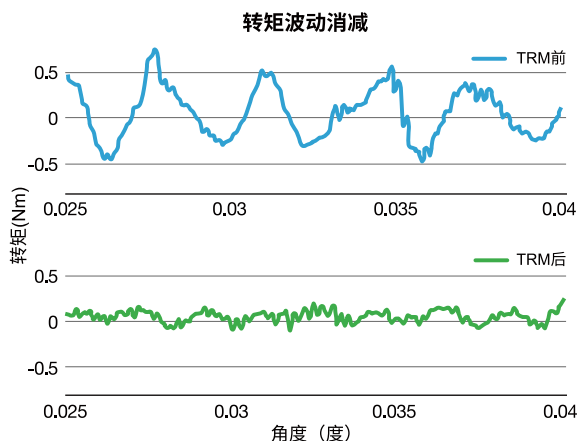
Continuous Solutions工程师继续创建并测试了新电机设计的原型，其测试性能与仿真结果非常吻合。另外，为了实现大规模生产，Continuous Solutions与Nidec Motor Corporation建立了战略合作关系，以实现此技术的商用化。在达到同等效率、功率密度和噪声性能的情况下，新式电机与永磁电机相比成本降低20~50%，而工作温度提高50%。⚠



磁链（作为
电流负载和
转子位置的
函数）3D图



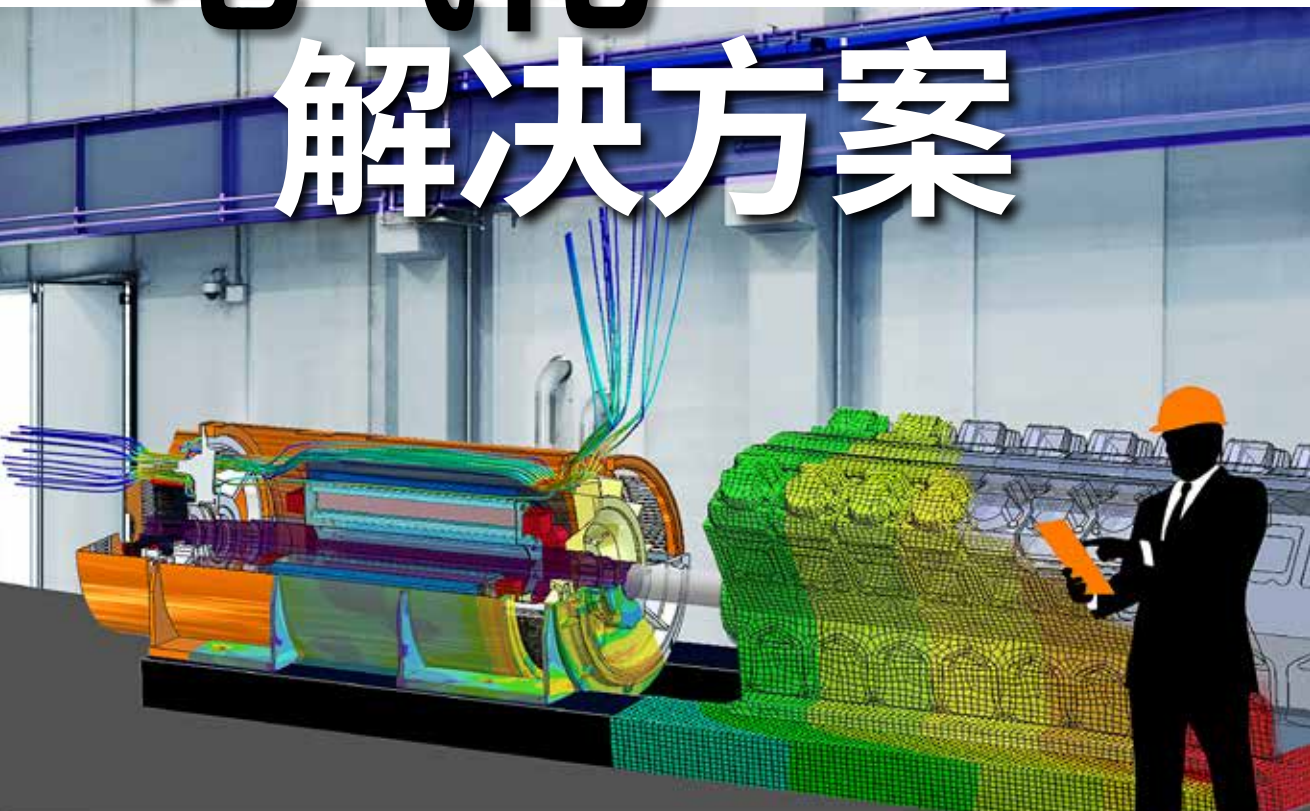
转矩（作为
电流负载和
转子位置的
函数）3D图



Continuous Solutions转矩波动消减控制器实现SRM转矩波动消减

通过多物理场系统仿真方法进行
电气驱动建模
ansys.com/electrical-drive

电机与发动机的 电气化 解决方案



发电设备市场的竞争日趋激烈，客户需要更低成本、更可靠、更环保的产品。为满足客户需求，Marelli Motori采用ANSYS Maxwell、ANSYS Mechanical和ANSYS CFX多物理场仿真技术，为客户提供值得信赖的定制解决方案。最近，他们开始采用ANSYS Discovery Live，通过实时改变产品几何结构或工况得到变化后的仿真结果，从而大幅降低了设计时间。

采用ANSYS Mechanical与
CFX开展的发动机组
(柴油机与发电机的组合)
多物理场仿真

作者：**Nicola Pornaro**，意大利阿孜南诺Marelli Motori股份公司
机械技术研发协调员

“工程师采用ANSYS Maxwell确定线圈的热点， 然后为改进热交换设计将分析信息与 ANSYS CFX计算结果结合在一起。”

电机和发电机包含电子流经的旋转磁性线圈。流经电子的导线电阻与旋转装置的摩擦力会导致热量聚集。热能损耗部分无法做功，从而降低了电机与发电机的效率。随着结构组件中的温度上升会产生温度应力，过热也会造成结构问题。冷却气流可以用于耗散热量，但是，必须优化气流的物理性质才能达到最佳效果。

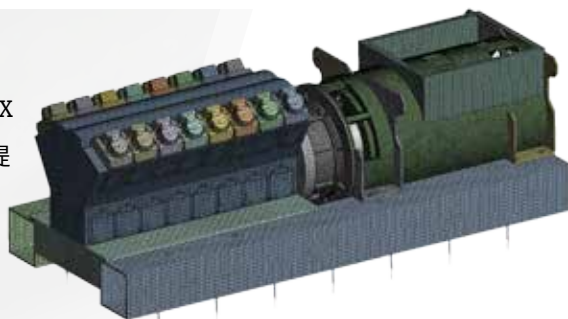
由于所有的物理效应是同时发生的，因此需要采用多物理场仿真方法。Marelli Motori工程师采用ANSYS多物理场解决方案开展电机与发电机的定制设计，从而解决各个行业的挑战，具体行业如：水力发电、热电联产、石油天然气、民用与商业海运、军用以及电机和发电机在爆炸性环境下的ATEX行业等。（ATEX包含两个欧盟指令，指令规定了在具有爆炸性环境中允许使用的设备和工作空间。）

机械、流体与机电多物理场解决方案

Marelli Motori工程师采用ANSYS Mechanical对框架、护罩、冷却风机、电机轴和发电机进行设计优化。结构仿真的目标是降低组件重量的同时优化组件刚度。此外，Marelli Motori研发团队还模拟了机器对于转子旋转产生的静态与动态力的响应；发现过大的力会导致组件变形、形成裂纹或疲劳，最终导致失效。

Marelli Motori工程师将ANSYS Workbench用作多物理场仿真的通用平台，他们进行了ANSYS CFX仿真和结构仿真，以确定能够满足最佳结构完整性、高热效率和低成本的设计方案。转子组件（根据机械的空气环路，包括一台或两台冷却风机）、定子和换热器（有需求时）是电机或发电机的核心换热组件。ANSYS CFX计算流体动力学(CFD)仿真通过优化机器中的气流，从而提高冷却效率并加快与环境的热交换。这样能够减少发电机与电机内部的热点，从而提高效率并最大程度地增加功率输出。

最后，在多物理场仿真中把ANSYS Maxwell的结果添加到Mechanical和CFX中，以完善优化过程。为了减少产生电机振动的力，唯一的方法是采用Maxwell提取电磁力并把它导入

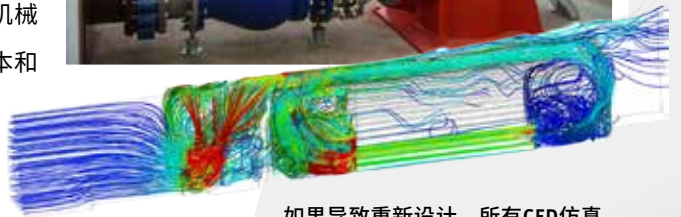


德国一家医院安装的Marelli Motori交流发电机组示例

Mechanical进行分析，从而评估框架的谐波响应。此外，Maxwell还可用于确定线圈中的热点，然后把分析结果与CFX计算结果相结合，以局部优化设计方案并改善热交换。利用ANSYS多物理场仿真，Marelli Motori工程师能够获得更高质量的结果，而且用时比过去其他仿真产品少60-70%。

生产制造挑战

即使进行了机械、流体和机电仿真，优化后的设计方案仍然存在挑战：工程师无法高效制造电机或发电机。Marelli Motori工程师希望能够改进制造工艺，同时确保机器在每种工况下的安全性和可靠性。这是工程工作流程中最具挑战的部分，因为在工程师努力设计有助于机械散热的系列组件时必须同时考虑形状可行性、生产成本和总装便利性等约束性条件。通过在多物理场仿真过程中结合使用ANSYS Mechanical和ANSYS CFX，工程团队得以实现最佳的制造流程。在最近的一个项目中，工程师借助最新技术改进新的小型交流发电机系列研发产品，ANSYS仿真帮助他们将设计时间大幅缩短。



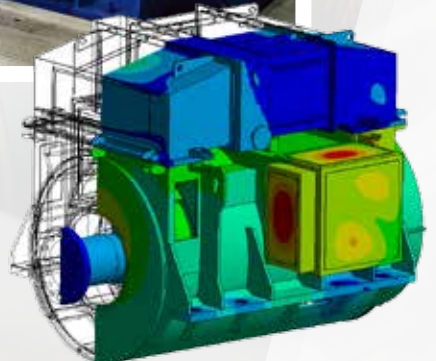
如果导致重新设计，所有CFD仿真随后都会在试验室中进行评估。如图所示，面向工业用途的Marelli Motori电机正在进行测试。

应用实例

显然，各种设计参数在各个行业的作用不尽相同。在海洋行业中，电机和交流发电机要求低噪声以及超低振动，以免影响船舶乘客的体验。为了降低噪声和振动，工程师必须采用ANSYS Mechanical对电机机架和其他组件进行结构有限元分析和谐波响应计算。

发电机组是内燃机和电机或交流发电机的组合，可用作备用电源。机组柴油机的振动会激发系统的固有频率振动和谐波响应。Marelli Motori工程师通过ANSYS Mechanical进行模态分析，以确定不同工况的频率变化与谐波响应，最终分析交流发电机的动态特性。然后客户和发电机组设计人员开展协作，避免各个设计项目中的发电机组与周围结构发生共振。如果未执行前期分析，而完工后的发电机组在船舶内部产生了振动和结构噪声，则修复工作会产生巨大的额外费用甚至导致项目延期。

在发电行业中，最重要的环节是提高效率。主要方法是采用CFD仿真改善机器的冷却

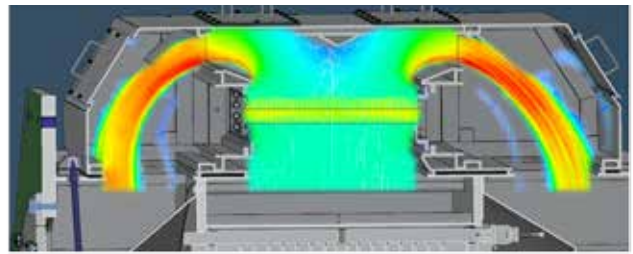
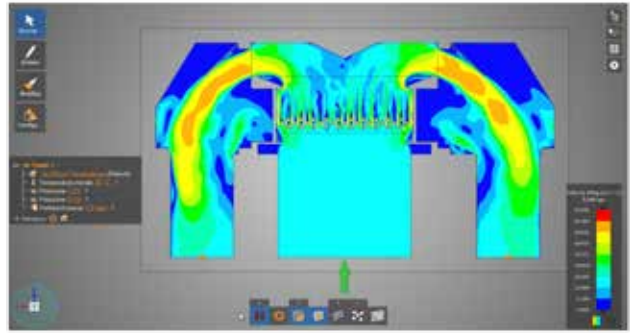


海洋行业中的最大功率发电机及其交流发电机的仿真

气流，并把相关结果与EM仿真相结合，通过降低损耗来优化电气部件。Marelli Motori工程师每天都在进行此类多物理场仿真，如果在数值仿真后有任何修改，工程师都会在实验室中进行评估，根据国际标准证明其在温度和效率方面的优势。

采用仿真实现设计理念

ANSYS Discovery Live于2018年初发布后，Marelli Motori是率先采用该软件的公司之一。Discovery Live是首款允许工程师和设计人员进行仿真过程中修改几何结构参数和其他属性参数、并即时查看修改结果的仿真解决方案。Marelli Motori致力于高品质、高可靠性的定制产品，并努力快速满足客户需求，他们随即意识到这种快速的仿真结果可以帮助自己更快地应对客户需求。例如在开展封闭式交流发电机换热的仿真时，一名专家级CFX用户在8个小时内分析了五



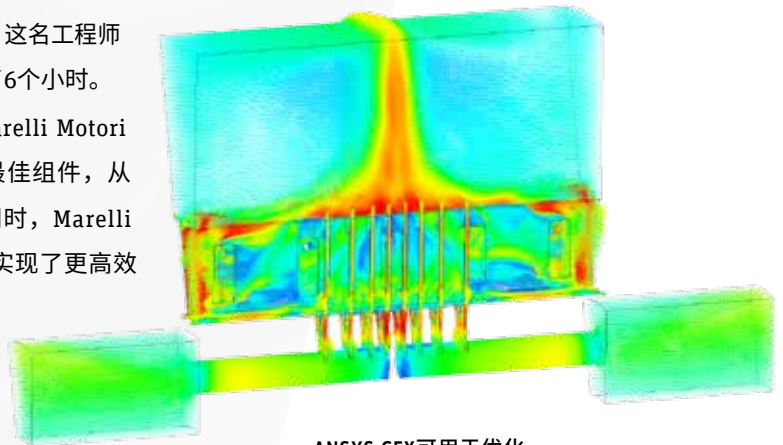
采用ANSYS CFX进行换热仿真的示例。一名专家级用户在8个小时内完成了5项仿真。

利用ANSYS Discovery Live，用户在2个小时内完成了多次仿真并实现了最佳设计。

“在开展封闭式交流发电机换热仿真时，一名专家级CFX用户在8个小时内分析了五种不同的设计方案；而采用Discovery Live，这名工程师只用两个小时就实现了最佳设计。”

种不同的设计方案；而采用Discovery Live，这名工程师只用两个小时就实现了最佳设计——节约了6个小时。

在ANSYS多物理场仿真的帮助下，Marelli Motori工程师设计出适合定制电机和发电机的最佳组件，从而提高了其在全球市场的竞争力。与此同时，Marelli Motori研发团队和ANSYS仿真技术的协作实现了更高效、更低成本、更短的研发时间和更高的可靠性，客户们对此赞赏有加。▲



ANSYS CFX可用于优化转子内部的冷却通道。



电气驱动设计
[ansys.com/electric-drive](https://www.ansys.com/electric-drive)

为未来注入 强大的 动力

WEG直接驱动风力涡轮机
AGW 110/2.1MW

作者：**Mateus Nicoladelli de Oliveira**，WEG Energy研发-应用技术部巴西圣卡塔琳娜州南雅拉瓜

随着全球电力需求不断增长，需要大力发展可再生能源技术来满足这一需求。巴西公司WEG是电气产品设计及生产市场的长期领导者，具有提供可再生能源系统及组件的专业技术。在整个设计过程中，甚至在产品运行过程中，WEG Energy都利用ANSYS解决方案研发可靠的可再生能源设备。



涡轮机械仿真再登新高

[ansys.com/next-level-turbo](https://www.ansys.com/next-level-turbo)

市

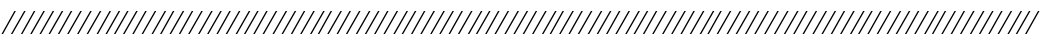
场研究公司Envision Intelligence数据显示，全球可再生能源市场规模到2024年底将达到约1.0624万亿美元，2018年至2024年期间的年复合增长率为13.1%。为满足日益增长的电力需求，同时减少温室气体的排放，许多国家都在投资电厂可再生能源技术。WEG公司始终致力于为电厂提供解决方案。

WEG成立于1961年，当时只是一家生产电机的小工厂，如今已发展成全球制造商和能源解决方案的供应商。

WEG能源部的可再生能源技术包括风力发电机、涡轮发电机以及水轮发电机。工程师必须按照严格的期限和成本要求去生产这些高质量产品。如果在研发的每一个阶段都要测试这些复杂的大型机器，不仅成本过高，而且非常耗时，因此该团队在设计流程早期阶段及在整个产品研发过程中采用工程设计仿真。WEG工程师依靠ANSYS的综合解决方案进行结构、电磁及热仿真。

WEG的大部分可再生能源解决方案都属于非标准设计，必须按照每个项目的特定要求和工况进行定制。这种定制需要开展灵活、综合而精确的工程设计仿真。对于WEG最新4MW直驱风力发电机平台，工程师一直使用ANSYS Mechanical和ANSYS Maxwell仿真解决方案进行研发设计。热电厂汽轮机的涡轮发电机具有高功率密度，工作时会产生大量必须适当耗散的余热。WEG工程师使用ANSYS CFX计算流体动力学(CFD)仿真软件进行热管理，成功提高了发电机效率。在水力发电领域，水力涡轮机设计需要综合使用ANSYS BladeModeler、ANSYS TurboGrid、ANSYS CFX和ANSYS DesignXplorer，结合系统变量探索涡轮结构参数，以便研发高效可靠的设备。

“WEG团队在设计流程早期阶段及整个产品研发过程中均可采用工程设计仿真。”

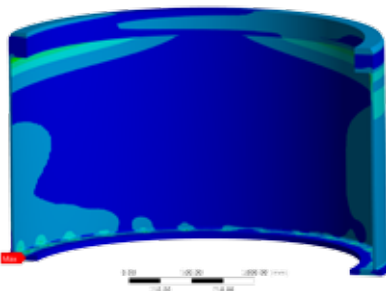
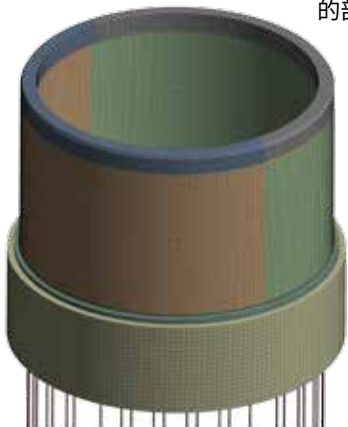


风力涡轮机加倍输出

由于风力发电市场竞争愈发激烈，WEG正在研发4MW直驱风力涡轮机，输出功率与WEG是当前2.1兆瓦平台的近两倍。这款更大的新型涡轮机是WEG巴西与美国工程师合作研发，具有效率高、维护方便的特性。

高功率输出会导致高动态载荷，需要使用ANSYS Mechanical对风力涡轮机的各个组件进行结构仿真。风力涡轮机后底盘设计的主要挑战是组件几何结构以及载荷的复杂性。为生产出坚固可靠的

部件，WEG工程师使用ANSYS Mechanical和ANSYS DesignXplorer，对部件的整体结构进行仿真，包括评估具有高载荷的关键焊点和制造工艺特征。

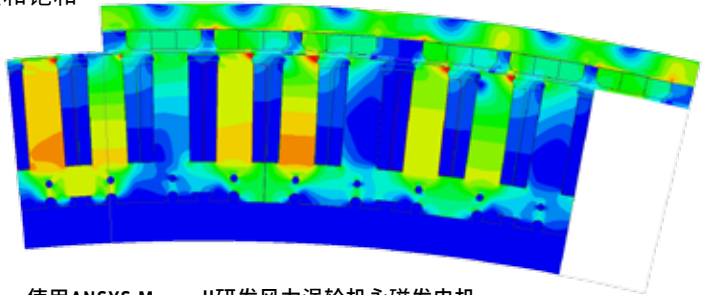


◀ 机舱塔顶适配器（左）。颈部应力及焊点的评估（右）。

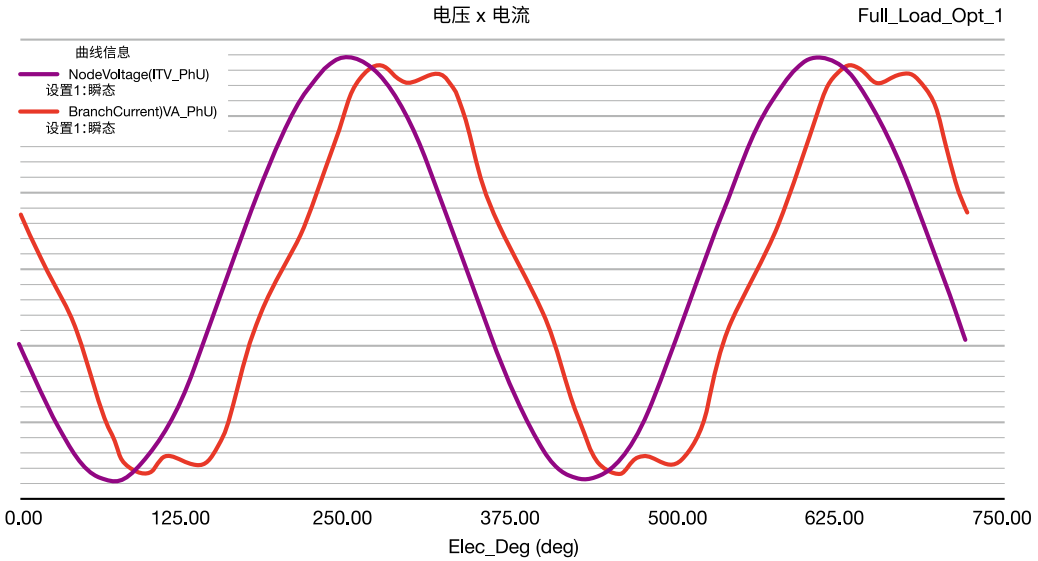
机舱塔顶适配器将混凝土塔的顶部与机舱底部及其偏转轴承相结合，在风力涡轮机使用寿命内机舱塔顶适配器必须能承受极限载荷，避免塑性变形且不会发生滑动。工程师使用结构仿真评估颈部及焊点处的应力，并使用ANSYS nCode DesignLife进行疲劳故障分析。

除ANSYS Mechanical外，WEG工程师还广泛使用ANSYS Maxwell进行低频电磁场仿真，以评估扭矩、感应电压、磁芯损耗度和饱和

度。在研发风力涡轮机等电气设备时，一个重要的参考标准就是要最大限度降低发电机和电源转换器之间的谐波电流。为维持较低的总谐波失真(THD)工程师通过仿真分析磁体定位，以判断所产生的电压及谐波频谱。



使用ANSYS Maxwell研发风力涡轮机永磁发电机



满负载运行时，风力涡轮机的电压与电流

总体而言， ANSYS仿真解决方案在4MW平台的研发过程中被证实具有不可估量的价值，可帮助工程设计团队快速验证并完善设计。

////////////////////////////////////

发电机研发与评估

WEG生产发电机已有30多年。对于每款新产品，工程师都会通过深度仿真评估其创新特性。例如，一个新项目通常都需要进行热分析，因为无论是机器功率输出增大，还是机器尺寸缩小，本质上都会影响机器的产热与散热平衡。

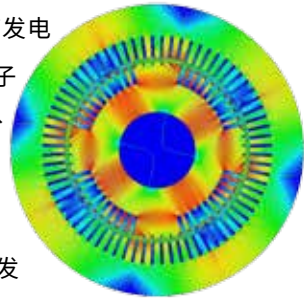
对于一项新的创新，WEG希望在一个新的涡轮发电机生产线上使用替代材料制造罩着转子线圈头的钢盖。工程设计团队探索一种带状预浸渍复合材料用以替换定位环。他们使用ANSYS Mechanical评估两种附加条件下条带的径向位移：线圈头组件的应变和条带的残余接触压力。评估结果是：完全通过验证的组件不仅重量更轻，而且制造成本也很低。使用本例中的复合材料等新材料，可将原料成本锐降77%，将绕线转子制造成本降低18%到20%。

“通风损耗降低23%，
总重量降低14%。”



终端用户工厂安装的WEG发电机

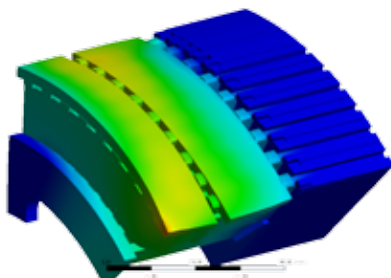
除了这些发电机的结构改进外，WEG也想改善风量分配，提高发电机散热系统的效率。WEG工程师使用ANSYS CFX确定流经转子及定子线圈的气流，检测电机中的热点。仿真结果显示改进后的电机热分布更均匀，这不仅带来了优良的机器性能；而且还可降低风阻（气阻）损耗，通风损耗降低23%，总重量降低14%。



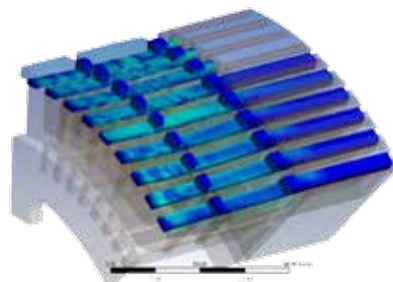
对于研发过程中的电磁分析，ANSYS Maxwell软件可以提供有关发电电压、磁芯饱和及损耗的宝贵信息。此外，用途广泛的Maxwell

采用ANSYS Maxwell仿真圆筒形磁极发电机，展示全负荷运行条件下非对称模型的感应线和磁通线

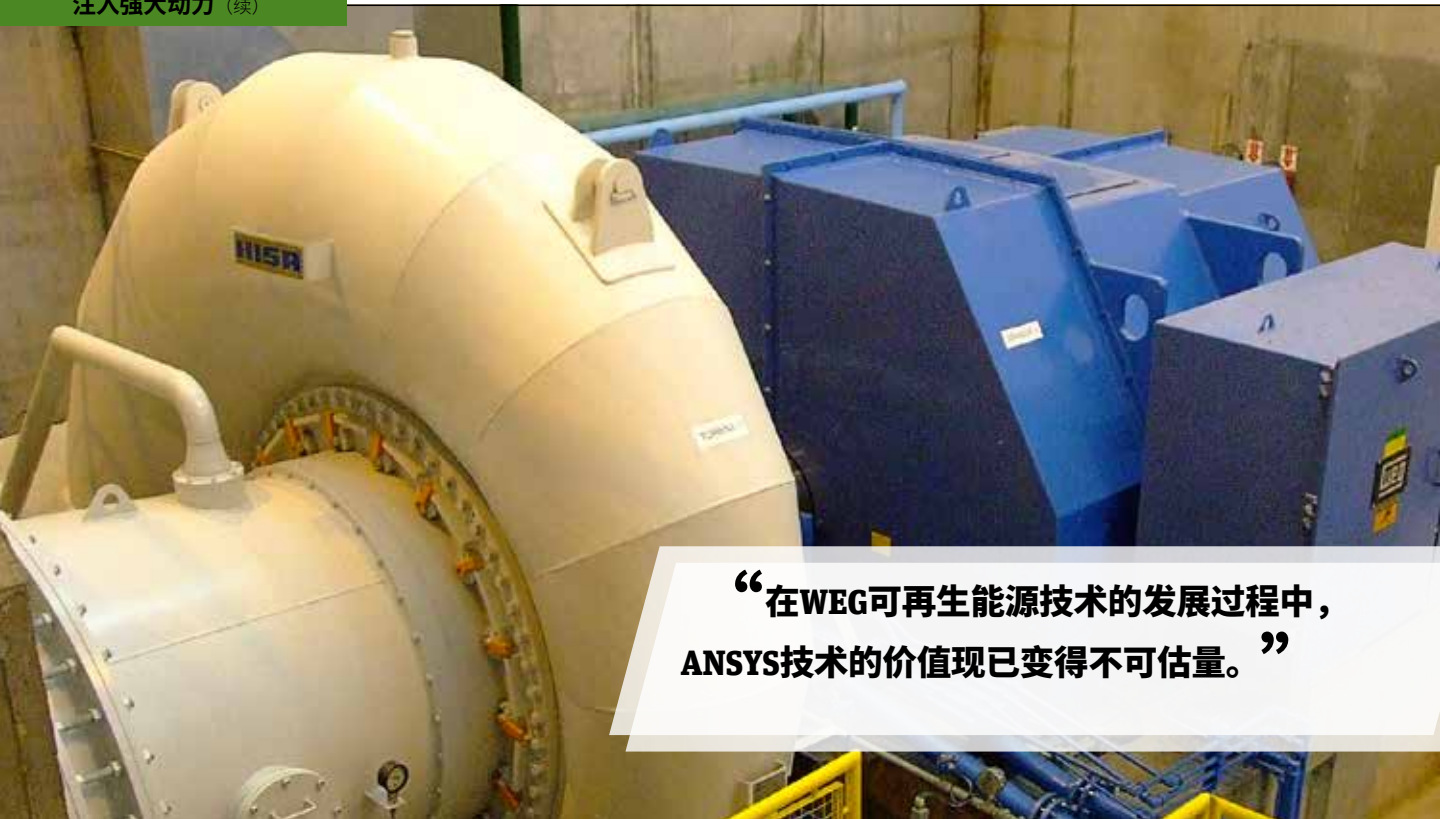
还可帮助WEG工程师评估设计备选方案，预测机器性能，诊断某种工况下的潜在故障。例如，如果机器因定子线圈短路而关闭，或者定子需要维修或更换特定线圈，机器可能需要停工一段时间。怎么才能要继续工作呢？可以在临时维修时断开发生故障的定子线圈，但断开线圈所导致的不对称电流分配可能会造成过热。使用ANSYS Maxwell瞬态求解器，WEG工程师可通过细致的电磁分析，预测相位和路径的电流分配，估算谐波影响并计算降额因子，从而确定临时维修对机器性能的影响。其中降额因子决定了临时维修工况下机器输出功率的限值。ANSYS工具可帮助WEG工程师了解复杂现象，解决各种问题。



使用ANSYS Mechanical评估条带径向位移



使用ANSYS Mechanical评估条带残余接触压力



“在WEG可再生能源技术的发展过程中，ANSYS技术的价值现已变得不可估量。”

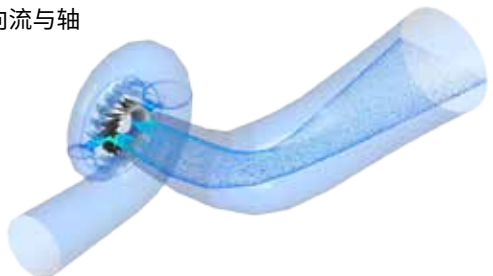
试运行工作中的法氏水轮机及WEG发电机

水轮机设计探索

水轮机运行时的流体流动情况十分复杂。对于水力发电，不同项目的位置及独特地理特性会影响水轮机的压力、水流速度以及水位差大小。仿真会有效考虑流体计算所涉及的所有参数，而且还能与涡轮结构参数相结合，例如法式水轮机的径向流与轴向流。

WEG工程师使用ANSYS CFX检查工作压力场和速度曲线，以估算各种工况下的涡轮参数。使用ANSYS Workbench，他们不仅可将固定导流叶片等组件的模型参数化，而且还可轻松设置ANSYS涡轮工具，以便评估通过叶片横截面和径向截面的重要特征。这有助于工程师虚拟地观察穿过水轮机轮廓及叶片剖面的水流流动情况。

优化众多工况下的水轮机效率，是一项极具挑战性的任务。为协助开发最高效率的涡轮机，工程师使用ANSYS CFX为每个非标准项目涡轮机生成涡轮机特性曲线，包括不同工况组合的性能效率曲线。WEG工程师可将ANSYS CFX与ANSYS DesignXplorer仿真得到的数据输



采用ANSYS CFX仿真的法氏涡轮机的完整模型



法氏涡轮机固定导流叶片及转轮叶片的速度仿真



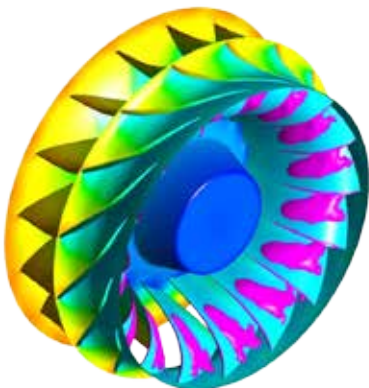
10倍提升涡轮机械仿真性能
[ansys.com/turbo-10x](https://www.ansys.com/turbo-10x)

入到该图。这可帮助他们对各种不同的机器参数进行探索和实验，例如叶片形状、导流叶片位置、机壳以及引流管行为等。

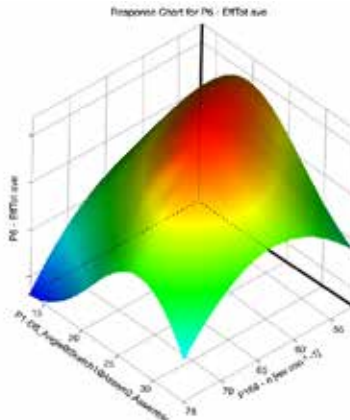
此外，工程设计团队还进行了复杂性研究，包括验证涡轮速度失控以及汽蚀的存在，这些情况会造成转轮叶片的损坏。涡轮速度失控时，需要深度分析超速和蜗壳超压等关键参数，以确保机器处于安全状态。

虚拟模型有助于在机器制造前对这些参数进行评估。研究汽蚀的方法之一是确定和评估液态低压区域。但是，最准确的方法是研究机器的低压区在工作时的水的相变（从液态到气态）。仿真开展这项工作的有效方法。

在虚拟模型上找到最高效的输入参数组合之后，WEG先制造产品，然后获取现场数据，以实现工程信息闭环。通过仿真，WEG完全有信心制造出可靠、高效、高性能的水轮机。⚠



使用ANSYS CFX仿真法氏涡轮机转轮设计



法氏涡轮机特性曲线图，红色部分表示效率值更高

扩大ANSYS仿真解决方案的使用范围

在WEG可再生能源技术的发展过程中，ANSYS技术的价值现已变得不可估量，尤其是在设计定制方案和非标准解决方案时。仿真有助于工程设计团队最大限度减少不确定性因素并降低风险。WEG工程师通过仿真来进行产品构思、设计迭代及虚拟原型设计，且在运行后进行取证分析。这个流程用于公司的大部分产品，以便根据广泛的物理场确定最佳设计。WEG Energy期待进一步扩大工程仿真的使用范围；使用ANSYS软件进行研发的工程设计团队越来越多。在WEG未来远景规划中，工程师预计将在数字孪生体中使用ANSYS工具，数字孪生体是处于工作状态下的机器的实时虚拟仿真。

在WEG能源部，仿真不仅可帮助工程师节省研发时间与成本，而且还可帮助他们研发出高度可靠的高性能产品。2018年，WEG工程技术总监Milton Castella为WEG赢得了巴西创新奖（Innovation Brazil Award）。在颁奖仪式上，他说：“2016年我们大约50%的收入源于过去5年中研发的产品。”WEG在实现这一划时代目标的过程中，ANSYS的帮助发挥了关键性的作用。

ANSYS优秀渠道合作伙伴ESSS为初级使用者和专家提供了ANSYS仿真软件培训。

感谢以下WEG Energy团队成员参与本文的编写：Rodrigo C. Cossalter、Andre Eger、Diego S. Montero、Ricardo L. Sartori、Jhonattan Dias、Guilherme S. Porepp、Danielle R. Voltolini、Elissa S. de Carvalho、Angelo P. de Carvalho、Leandro Schemmer、Tarcisio W. Junior、Lessandro Bertagnolli和Carlos Ogawa。

避免聚变反应堆 过热

作者：**Julien Hillairet**，射频研发工程师；
Zhaoxi Chen，机械研发工程师；
Jonathan Gerardin，热传递研发工程师；
以及**Marie-Hélène Aumeunier**，法国
Cadarache的法国替代能源与原子能委员会
(CEA)光学研发工程师

◀ 安装在WEST设备中的30到60MHz离子加热天线



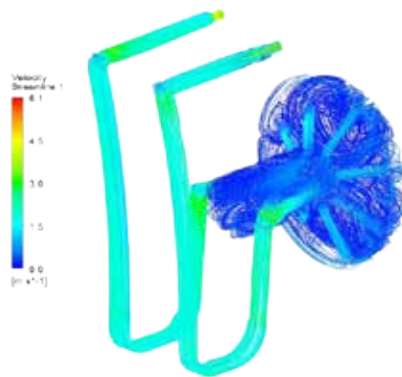
聚变是太阳的能量来源，拥有无限潜力，能为地球带来源源不断的清洁、安全的能源。核聚变发电是长期追求的目标，研发核聚变能源的可靠系统极具优势，值得我们为之努力。法国原子能委员会的工程师正在使用ANSYS软件克服保护工作温度约1.5亿度的聚变反应堆组件的所面临的困难和挑战。工程师采用ANSYS的电磁和结构仿真技术模拟组件在极大热负载下的情况；采用ANSYS流体动力学软件设计冷却系统；采用ANSYS光学仿真技术校正红外测温系统，工程师能准确识别直接热通量（纯粹因反射导致的热通量）造成的光斑。

**“在单个天线原型成本达数百万欧元的情况下，
对于可作为潜在能源的核聚变技术的研发而言，
精准仿真至关重要。”**

通过聚变反应进行发电，热等离子体需要保持在极高温度下。CEA的钨极(W)实验超导托卡马克装置(EST)反应堆团队使用数米长、半米宽以及数吨重的天线将数兆瓦功率的高能射频(RF)放射波注入到等离子体中，以保持等离子体的温度。这些天线极为靠近热等离子体，因而CEA使用ANSYS多物理场仿真软件设计能够耐受热应力的天线，设计的天线可在由等离子体热通量、电阻产热和射频反射产生的热应力环境下工作。ANSYS软件能对面向等离子体组件的红外测量进行仿真，确保测量的准确性。此外，CEA通过仿真提升这些天线的射频性能，同时降低天线成本和所需原型数量，最终节省了数百万欧元。

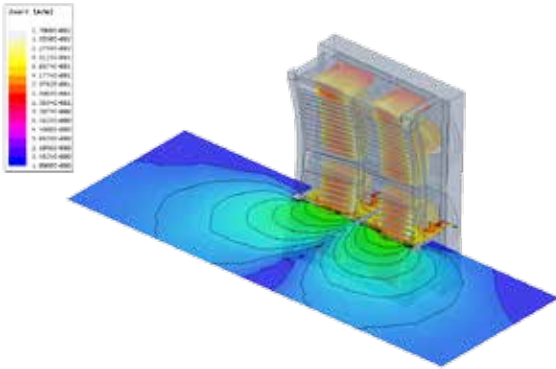
天线设计挑战

等离子体是将电子从原子剥离后的一种物质状态，该状态下的电子和离子可自由运动。由于等离子体具有导电性，在通电后会产热，与辐射加热器

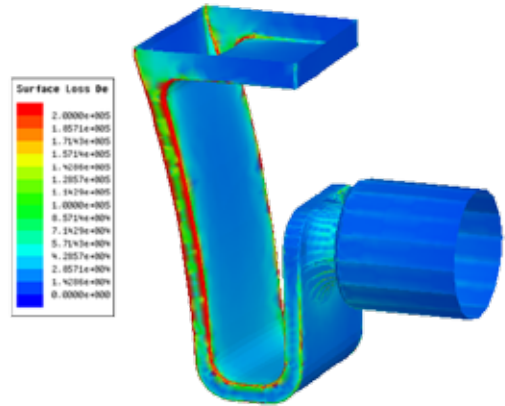


ANSYS Fluent仿真来显示水冷电路中的压力分布

的作用相似。等离子体的电阻率会随温度上升而下降，利用等离子体的特性能使温度上升到数千万度，但我们实际需要的温度更高。为了让温度再升高一个级别，CEA的研发设备WEST（稳态托卡马克钨极[W]环境）可向等离子体注入高功率射频波。等离子体会对天线辐射高强度的热负载，负载平均达数万瓦每平方米(kW/m^2)，最热的区域达数兆瓦每平方米(MW/m^2)，因此必须通过内部水循环管道对天线进行冷却，才能将最高温度限制在几百摄氏度以内。此外，兆瓦级的射频还会因天线电阻损耗而产生额外的热通量，而且其中一些射频会从等离子体反射回天线。另外，天线也必须承受因等离子体约束突然丧失而产生的机械负荷。这种现象称为大破裂，发生



50MHz天线产生的磁场的ANSYS HFSS模型



HFSS仿真体现50MHz天线上的欧姆损耗。

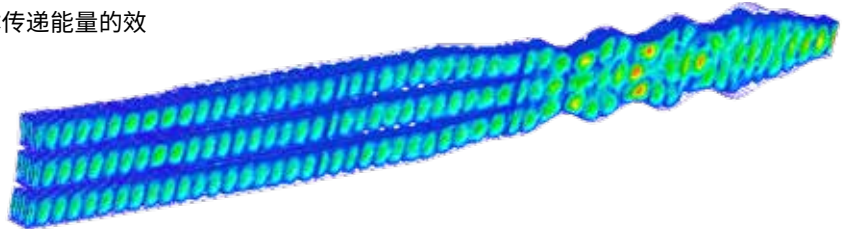
在等离子不稳定时。出现这种情况时，等离子体中循环的电流会在10毫秒或更短时间内从数百万安培陡降至零，这会给面向等离子体的组件（例如天线）施加一个巨大的机械扭矩。

热载荷仿真

CEA工程师使用ANSYS HFSS优化天线的RF设计，不仅能最大限度提高从天线向等离子体传递能量的效率，同时还可后续的应力分析预测电阻负载。辐射介质的建模比较复杂，因为磁性等离子体是非均质物质，其密度和温度由外到内逐渐升高，在频域和空间域上均呈现为非线性。在靠近天线的等离子体边缘处，等离子体可能与回旋介质的性质近似，会随着

准静态磁场的作用而发生相应变化。在CEA和国际热核聚变实验反应堆计划组织(ITER)的要求下，一个由多国合作的实验聚变反应堆正式开始建设。ANSYS加强了HFSS支持复杂回旋介质的能力，使HFSS可以为面向天线的等离子体边缘建模。

天线上的热负载包括电阻损耗、等离子体产生的热通量、以及从等离子体反射



3.7GHz天线内的ANSYS HFSS电场仿真。将RF功率从图的右侧注入并流向图的左侧。可将该功率先分为三路（垂直向），然后再分为六路（水平向），并在注入等离子体前进行相移。

聚变发电

聚变发电是理想的能源，燃料为氢同位素（例如能从海水中提取的氘，能从反应堆里产生的氚），即不会产生温室气体，也不会产生除反应堆容器本身之外的放射性废料。在发电功率相似的情况下，它比风力发电或太阳能发电的占地要小得多，而且能全天候发电。但若产生能够控制的聚变反应，就需要将氢同位素（氘和氚）加热到1.5亿度以上，此时它们成为等离子体。等离子体是一种在太空中很常见、但在地球上很少见的带电气体。在这样的高温下，氘和氚通过聚变形成氦，并释放出一个中子和大量能量。维持这样的高温需要使用超导电磁产生的磁场约束等离子体。

回天线的RF。通过此前的物理实验和物理模型可以确定等离子体热通量和反射的RF功率。工程师利用HFSS计算前文提到的电阻损耗。穿过冷却通道的流体流动和热传递进行优化。ANSYS Mechanical有限元分析(FEA)软件不仅将所有热负载考虑在内,而且还能计算天线各个点的温度。随后,ANSYS Mechanical再将温度场转换成热应力,然后将热应力与机械应力进行叠加(尤其是大破裂事件产生的扭矩),进而确定整个天线承受的应力和产生的挠度。采用ANSYS Mechanical进行疲劳分析,可确定推荐设计的使用寿命,尤其大破裂事件的发生。

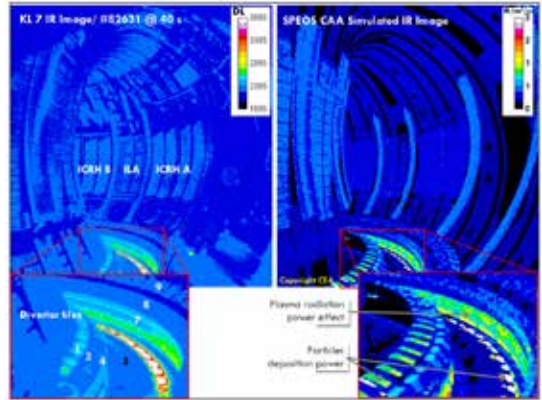


等离子体电流驱动天线

图片来自: C. Roux, R. Volpe, CEA

仿真红外测量

天线及面向等离子体表面组件所承受的热负载取决于众多因素,这些因素无法全部由提前仿真来确定。所以,我们可使用红外(IR)摄像头来监测天线的表面温度,这样就能在这些昂贵的组件被损坏前安全地关断等离子体,因此验证这些温度测量值的准确性至关重要。例如,IR系统需要有能检测微小的热点和温度梯度。托卡马克装置的环境具有非常强的反射性,因而来自高温区域的多重反射将会干扰表面温度热信号的评估,进而导致测量值不准确。如果温度测量值偏高,那么可能导致不必要的反应堆关闭,而关闭的代价高昂。相反,如果温度被测量值偏低,那么容器中的组件就有被损坏的风险。



ANSYS SPEOS仿真(右)与聚变反应堆(左)的IR图像吻合良好

为了应对这些挑战,CEA使用ANSYS SPEOS软件对红外系统的功能进行仿真,以测量天线和反应堆容器其它组件的温度,例如下偏滤器(托卡马克装置中接收来自等离子体最大部分热负载的区域)等。SPEOS可为光子与物质相互作用及其在红外系统中传播的复杂物理现象进行建模。该软件能预测由不同类型材料生成的辐射图像,进而预测材料老化对未来红外成像的影响。工程师使用SPEOS预测完整红外系统的全局响应,考虑多方因素:所有的红外源、托卡马克装置的3D几何结构,以及由表面双向散射分布函数(BSDF)确定的材料属性。此外,还可将SPEOS用于为红外摄像头建模,如尺寸、波长范围、光谱透射率和像素数量等几何光学属性。通过仿真可确定由不同表面温度形成的实际红外图像,从而便于校准红外系统,提供准确测量值(例如,需校正由于反射造成的虚假热点)。

由于单个天线原型就需耗资数百万欧元,因而对以下方面进行精准仿真对于研发可作为潜在能源的核聚变至关重要,如磁化等离子体和射频天线之间的电磁相互作用、天线的热应力、天线的红外温度测量。随着CEA工程师向现代电厂规模的聚变发电领域进军,ANSYS多物理场仿真软件可帮助他们全面应对这些挑战。获得了如下成果:不仅大幅减少了所需完整天线原型的数量,而且还将设计天线所需的时间从五年缩短至一年。此外,仿真还助力CEA工程师提升天线的性能,同时降低天线的制造成本。▲

追逐太阳的脚步

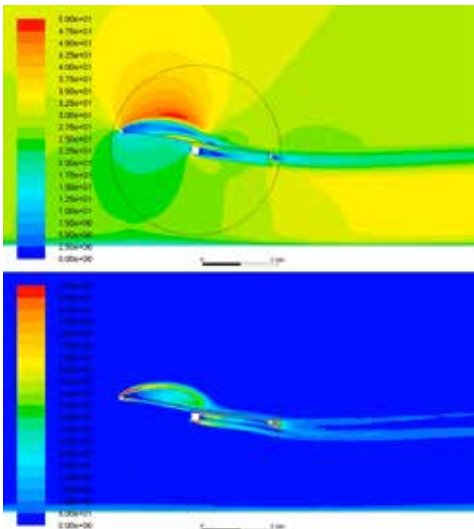
通过旋转太阳能电池板来“捕捉”天空中的太阳，太阳能追踪器可增加太阳能电池板发电量。但这些太阳能发电装置在过高的风速下可能受损。CPP Wind Engineering公司采用了仿真技术确定装置的失效原因，同时也探索能防止失效的操作流程和设计改动。

作者：澳大利亚圣彼得CPP Wind Engineering公司，CFD经理
Christian Rohr及运营经理Peter Bourke

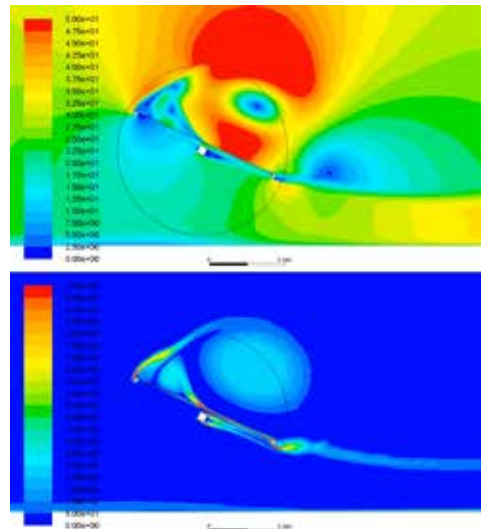
追逐太阳的自动旋转式单轴太阳能追踪器与固定式或“固定倾斜式”太阳能电池板相比，其发电量可高出10%到30%。但是，在某些风况下可能会导致太阳能追踪器扭转不稳定，进而造成损伤。受NEXTracker等多家太阳能跟踪系统公司的委托，CPP对这类故障展开调查并研发相应解决方案。为了重建导致跟踪器扭矩不稳定的风况，CPP结合使用了ANSYS Fluent计算流体动力学(CFD)软件与风洞测试。CPP不仅确定了问题的根源，而且还演示了如何通过调节工况和进行设计改动来解决这一问题。

太阳能追踪器

单轴追踪器由长轴及安装在长轴上光伏电池板组成，其中长轴也称扭矩管，用于旋转电池板。高刚度的扭矩管可以耐受风力，而且部分追踪器还装有外观类似于汽车减震器的扭矩阻尼器，可大幅减小振动。为了使旋转轴与地面平行，大部分单轴跟踪器都采用贴装方式。扭矩管由按一定间距安装在地面的垂直墩座或支撑柱上。风力较强时，追踪器通常会旋转到天顶位置。传

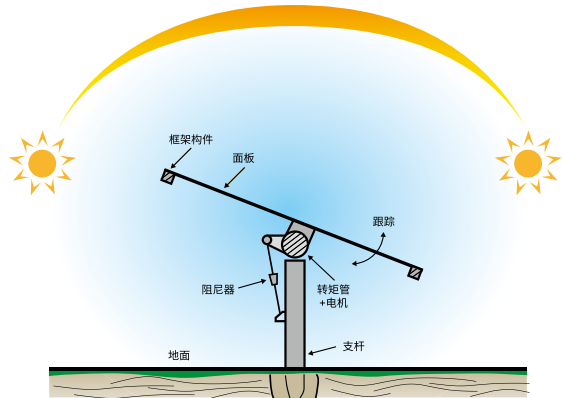


在仿真进行到0.30秒时，板的上侧会形成涡旋。



在0.55秒时，涡旋与板分离，向上的力矩下降至零。

统层面上看，处于天顶位置时板会与地面平行，从而减轻水平风力。但在过去的系列事故中，数家供应商的追踪器在采用这样的放置方式时，其在第一个振动模式下就会发生严重挠曲，即因太阳能板两端反向旋转产生的螺旋扭曲模式。现场报告显示，当面板正反向振荡超过20度时就会损坏追踪器。

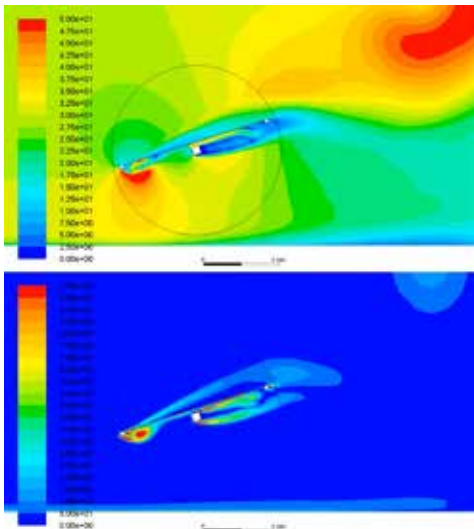


典型的太阳追踪器配置

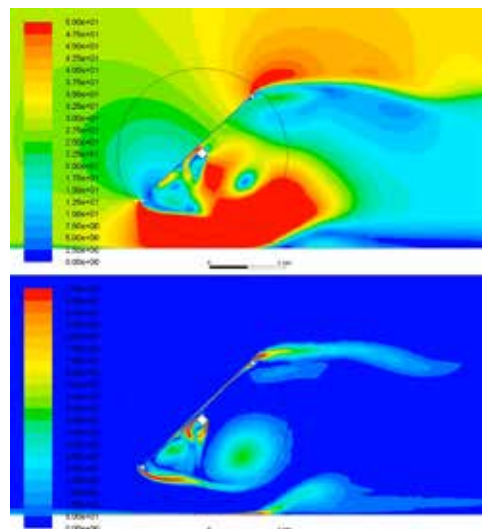
在平坦的天顶位置（与地面平行）时，追踪器与飞机机翼类似，当空气动力响应加强

叶片的振动时会发生颤振，因此CPP工程师推测追踪器的不稳定可能是由颤振造成的。然而，手册方程的计算结果表明这并不是经典的颤振，因为追踪器的垂直运动受固定间隔支柱的约束，追踪器无法在扭曲的同时上下伏动。此外，手册方程是以与实际条件不符的理想假设为基础，因而它们无法提供准确的结果。例如，大部分与颤振相关的手册方程均以振荡为基础，而方程中的振荡远比太阳能追踪器现场报告的轻微。

仅凭CFD或风洞测试无法完整地解读这些现象。空气弹性风洞测试不能显示造成不稳定的流动机制，而且能按此方法进行测试的几何结构与风况非常有限。CFD适合模拟众多不同的设计点和几乎所有的几何结构或条件，但在用于解决新的问题时，需要与物理测试结果进行比较和验证。此外，CFD还能比风洞测试更深入地研究物理场，并提供压力和速度模式，以显示导致追踪器运动的流动模型。



在0.77秒时，追踪器面板的前缘向下旋转，同时在下边缘形成涡旋。



在0.90秒时，涡旋已分离，而且前缘开始向上旋转。

CFD平面化建模

CPP工程师希望通过评估众多不同的设计点，以告知客户每个设计点的稳定性。为了加快求解速度，他们决定采用2D CFD模型。虽然这一模型不能重现太阳能追踪器真实的3D扭转，但CPP工程师通过校准2D模型的刚度和阻尼，使之与在风洞测试和现场的真实3D跟踪器的行为相匹配。

在CFD模型中，太阳能面板的安装高度能保证其在旋转时不会接触地面。面板采用大约50万个四边形单元进行网格划分，并在面板的周边和尾迹区进行网格细化。工程师采用了易实现的k-ε湍流模型观察不稳定情况的阈值。为了确定追踪器的稳定性，他们用最少的计算资源进行了10秒的瞬态仿真。

工程师将该模型的运动方程嵌入到用户定义的函数(UDF)中，并采用UDF来计算仿真中每个时间步的结构挠度，显著减少了仿真的计算量。将UDF计算结果反馈回CFD求解器，CFD据此调整旋转网格，进而改变追踪器的位置以响应挠曲。这种方案可以快速提供合理的结果。

通过改变风速、风向、仰角、结构刚度和跟踪器的阻尼，工程师在ANSYS Workbench中创建了相应的设计点(参数)表格。随后，他们在设计参数表格中输入了他们想要研究的参数。接下来，为了评估每个设计参数并跟存储结果，工程师还使用Workbench自动化建模及进行CFD仿真。



用于风洞测试的模型。

自然通风策略

此外，CPP工程师还多次利用风洞测试和CFD的互补优势提升内部空间的舒适度。虽然就测量城市风速和湍流的准确度而言，风洞测试的确是最适合的工具，但户外空间主要受雷诺(Reynolds)数的限制。CPP工程师将风洞压力测试与内部空间CFD研究相结合，以确认无法开展风洞测试的内部空间的舒适度。此外，这种计算模型还能评估风洞无法测量的由居住者、设备和阳光产生的热载荷。

风洞测试验证仿真

与此同时，工程师还创建了与2D CFD模型的几何结构相匹配的物理截面模型，并将其可变刚

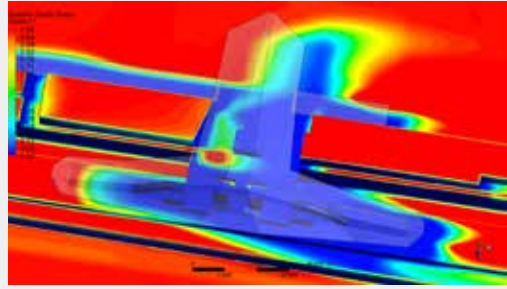


度扭转弹簧与CFD模型的刚度和阻尼进行匹配。工程师将物理模型水平放置在CPP的风洞大气边界层。将弹簧连接至旋转的轴上，并使用激光传感器对转角进行测量。风洞模型与CFD结果吻合良好，从而确保使用CFD模型可以准确地评估备选设计方案。

接下来，工程师创建3D CFD模型以进行不同关键设计参数的稳态仿真，检查这些参数的行为是否与2D CFD模型相匹配。此外，他们还构建了全三维的空气弹性风洞模型，可进一步验证2D和3D CFD模型。结果表明，所有的仿真和测试结果匹配良好。

风夹雨

另外，CPP工程师也通过CFD与风洞测试的有机结合，确定了雨篷下和靠近建筑物入口处的湿斑程度。他们同时使用了ANSYS Fluent中的离散颗粒模型和Eulerian多相策略，并将预测的流场与并行进行的行人风洞测试做对比，以验证或缩放CFD结果。

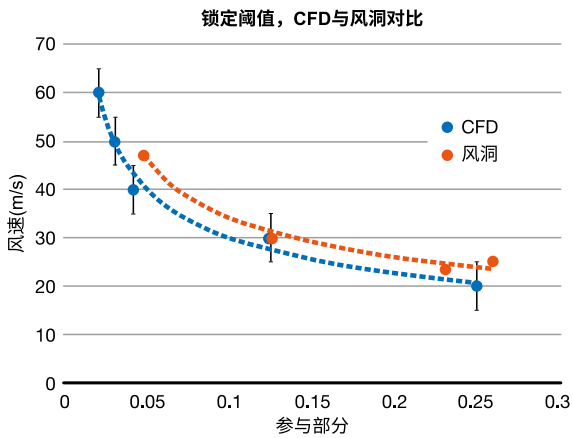


风夹雨的CFD结果

确认不稳定的诱因

仿真结果显示，当追踪器处于水平位置时，在追踪器的前缘上会形成涡旋，从而产生跨越中轴的巨大力矩。该力矩会造成追踪器扭曲，而且一旦发生扭曲，则流动分离的规模会增大，进而严重突起的区域会越过轴的中点。随着涡旋从追踪器脱离，力矩又会骤降至零，这时追踪器弹回平坦状态，这样追踪器的前缘又会开始向下沿着风向扭曲。随后，涡旋又会在前缘下侧形成，并重复上述过程。仿真显示出这种不稳定性的原因是扭转发散，而且很难使用阻尼去解决。

仿真结果显示仅在部分全跨度力矩参与涡旋脱离的情况下就会激发第一振型扭曲，而且在几个周期内扭曲幅度就会很大。CPP工程师还在不同条件下进行了仿真，并根据时间线的结果确定追踪器的稳定性。



◀ 仿真与风洞测试对比所确定的临界风速

CPP工程师为客户提供了追踪器的角度、风速和风向图，说明不同类型的追踪器适合何种天气和运行条件。此外，他们对升级跟踪器的刚度和阻尼所产生的结果提供了指导性说明。本项目通过将CFD和风洞测试相结合，可为单纯依靠测试或仿真难以或无法解决的问题提供典型的解决方案。另外，风洞测试还可用于验证2D和3D CFD模型。另一方面，CFD使准确的原因确认和问题解决成为可能。工程师能在有限的时间内评估众多不同的设计参数，同时还可为每个参数提供大量的诊断信息。▲

CPP Wind得到ASYS渠道合作伙伴
LEAP Australia的支持。



应变简化 轻松预测



作者：**Nathan Marks**
美国弗里德里市康明斯电力
系统公司(Cummins Power
Systems)应用技术部高级
机械工程师

◀ 康明斯测试的初始底座装配体

康明斯致力于向全球市场供应发电机

组，以满足用户对备用安装以及远程安
装的可靠电力的需求。随着时间的推移，

大型发电设备的振动会逐渐弱化其支撑结构，这通常可通过疲劳分析进行表征。然而，单纯的金属
框架应变使得分析模型并不足以准确预测疲劳程度，难点在于如何与试验实现良好关联。通过集成
True-Load应变关联模型与ANSYS Mechanical整体结构分析功能，康明斯电力系统公司团队终于解决数
十年未能完成的发电机组耐用性建模这一难题，

从而加速了仿真工作流程。



可缩短建模时间并促进产品
优化的直接建模解决方案
ansys.com/direct-modeling

它的使用寿命还有多久？在需要进行维修或更换之前，有关产品的有效使用寿命问题几乎与每一种工具、组件或系统都息息相关。不过，当设备是为医院、水处理中心、数据中心或者军工单位的大型连续或备用电源提供离网电力时，相关组织机构必须保证负责供电的发电机组的耐用性。

在电网供电不足的情况下，电力需求所需的发电机组规模非常庞大，这通常意味着需将它们安装到独立的机房。对机组进行维修时，拆除机房可能需要承担高昂费用。可将发电机组的组件安装到金属框架的底座上，这些组件包括发动机、曲轴、发电机、风机和散热器等。发动机振动产生的荷载会导致框架结构和连接焊缝发生疲劳，而底座的失效模式就成为我们首先需要关注的问题。对于康明斯电力系统公司的工程师而言，他们需要依据发电机组实际工况，不断提高预测底座疲劳寿命的准确性。

非传统方法

以前，康明斯团队采用了如下流程：先创建相关结构的分析模态模型，然后根据工况使用加速计进行实验调查。工程师再使用上述测量数据确定各个模态的整体模态比例因子。分别研究各个模态，对ANSYS Mechanical的结果按比例因子进行缩放，进而对应力与应变预测进行复核。但采用这种方法无法研究整体模态响应。

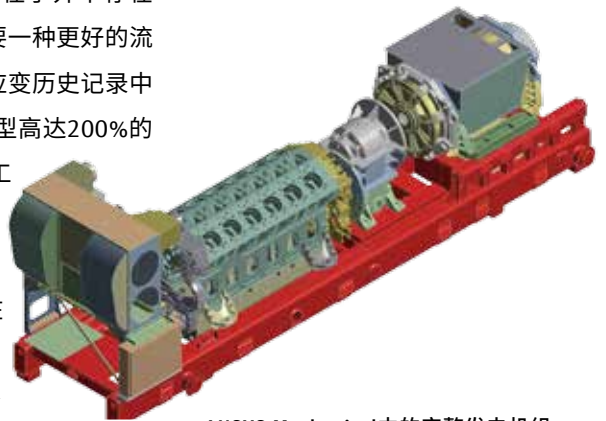
之前，团队将太多时间和精力用在了并不存在的问题上，后来发现了他们实际上需要一种更好的流程。由于疲劳预测是对数形式，一旦应变历史记录中的误差达到15~20%，就会导致寿命模型高达200%的误差。因此，需利用行业标准疲劳分析工具将所有模态的完整参与都考虑进去，这一点非常重要。不过，建立关联性更好的应变史也同样重要。康明斯需要了解应变仪在底座的安装位置，在正确的位置才能采集到关联疲劳分析模型所需的正确测试数据。通过将Wolf Star Technologies公司的True-Load软件包添加到基于ANSYS SpaceClaim Direct Modeler与ANSYS Mechanical的仿真工作流程中，工程师能大幅提升底座耐用性建模的速度和精度。

为了删除不影响结构仿真的小型间隙与小型面，该团队在导入底座CAD几何结构的初始阶段添加了SpaceClaim技术的特征清除功能。这样就可降低整体网格的复杂度。发电机组装配体模型相关的网格包括约400万个单元。采用最新版ANSYS Mechanical中的模型装配体功能，团队能以前创建单个模型工作流程三倍的速度创建网格。与以往模型系列相比，此模型的保真度要高得多，这主要归功于SpaceClaim和ANSYS Mechanical的强大功能。

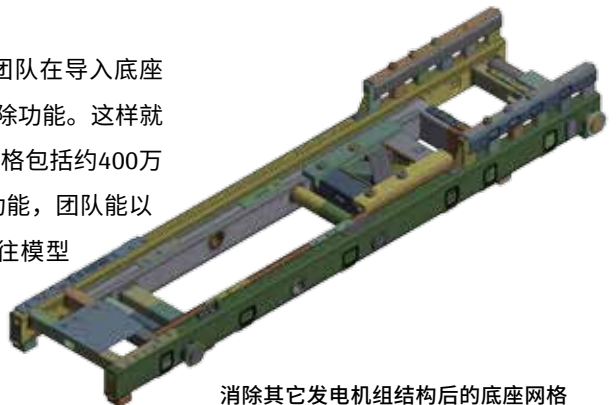
Mechanical的结构仿真主要侧重于模态分析，也就是说，可根据由发动机振动生成的力函数，确定构成结构特征的模态



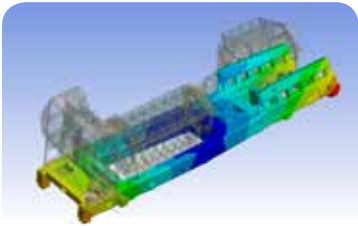
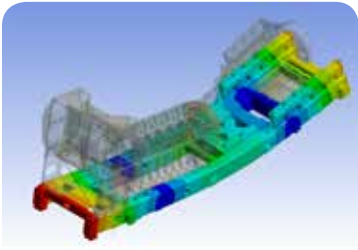
康明斯测试设施中的天然气发电机组。燃气燃油引擎、交流发电机、冷却系统和控制系统均安装在金属支撑框架（也可是底座）顶端。



ANSYS Mechanical中的完整发电机组几何结构，红色部分为带底座组件



消除其它发电机组结构后的底座网格



ANSYS Mechanical结果显示了底座振动频率模态分析的第一阶和第二阶模态，即代表垂直弯曲（上图）和扭曲模态形状（下图）。

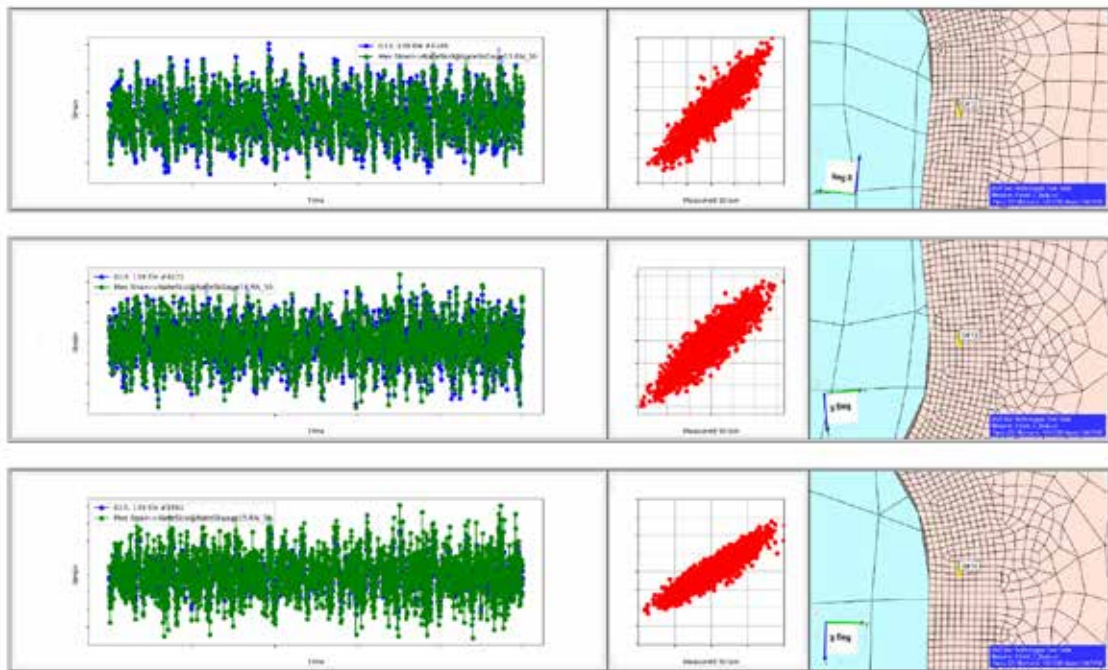
频率与形状。团队亟需同时了解用于决定整体动态响应的模态总数和主模态。正是这些模态激励导致底座应力与应变的产生，而这对下游的疲劳分析至关重要。采用Mechanical基于16核台式工作站的并行计算功能，根据分析设置和网格复杂度的不同，可将求解速度提升3到10倍。为了提升模型求解效率，我们通过以某种方式创建绑定接触定义实现了计算加速。模态分析的结果共包括24种模态，团队能将其作为单位荷载与True-Load结合使用。

应变史关联

康明斯团队可从Mechanical解决方案将模态分析结果文件导入到True-Load。工程师通过采用True-Load/Pre-Test技术，获得相关的实验测试指导信息，帮助他们确定物理应变仪在底座结构上的最佳放置位置。团队发现，True-Load/Pre-Test的一项主要优势是可以帮他们避免将应变仪放置到错误位置以及获得不可靠的数据。

通常情况下，有关实验测试的指导信息是“每个单位荷载或模态大概需要1.5到2个仪表”。True-Load可使用Mechanical模型的偏转形状，而静态荷载或本征模态会导致这些变形。整体而言，True-Load允许约束模态（单位位移）、附着模态（单位力）和本征模态（柔性模态）的混合工况。

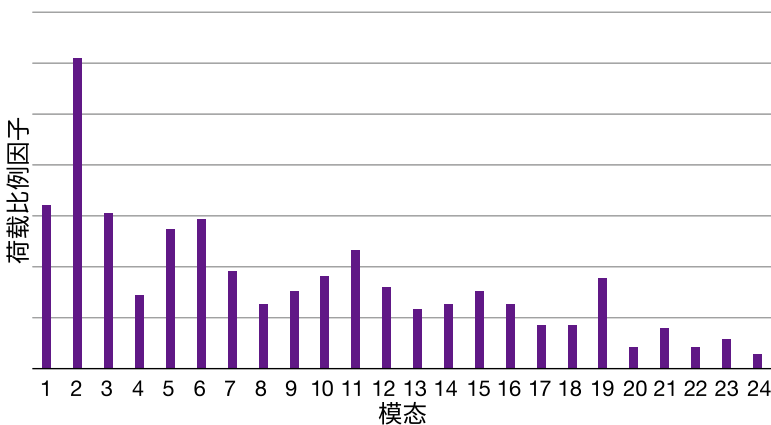
测试团队对这24种模态很感兴趣，因此他们在底座上使用了大约40到50个仪表。根据所提供的单位荷载确定用于结构的主荷载路径，True-Load为团队提供了应变仪位置。如果采用传统方法，团队可能会根据经验将仪表放置到热点位置，如：焊缝、销钉或凹槽。而采用这种新方案，True-Load指导他们将仪表布置到更适合后续应变关联的正确位置。



左：采用True-Load模态参与函数（蓝色）将测量应变数据的时间关系曲线（绿色）和应变预测结果进行对比。右：相关图对比显示了：应变预测图和测试周期中在三个典型仪表位置处所测得数据的相关性。完美相关的情况应是斜率为1的直线。

在掌握了仪表的位置之后，康明斯实验人员以一分钟为间隔（包括启动和停止），采集运行转速介于1,350至1,650rpm的发电机组发动机的数据。团队以极高的采样率收集了大量数据。由于True-Load不限制数据集的规模，同时康明斯也拥有能执行相关分析的充足硬件容量，因而高采样率不会带来任何问题。通过结合使用试验数据与Mechanical解决方案提供的单位荷载，True-Load/Post-Test计算了模态参与函数。上述过程产生了关联仿真结果与测量应变数据的正确模态组合，其平均误差约为6%（归一化均方根）。由此，工程师结合了Mechanical提供的应变预测与True-Load荷载比例因子，并将其导入至疲劳分析工具，生成底座的使用寿命曲线。

各模态的幅度范围

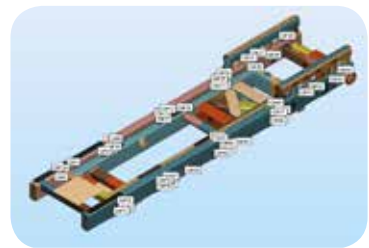


True-Load/Post-Test计算的模态参与函数可确定各个模态对总体响应的贡献度。图形表明幅度范围随模态和频率增加而相应减少，实际情况应该如此。

结果与过程改进

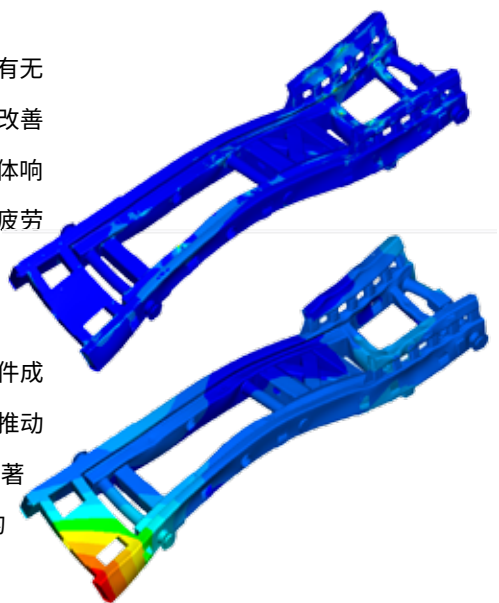
疲劳预测表明，指定占空比并不会导致底座受损，理论上结构具有无限使用寿命。团队发现，旨在减少底座重量的后续重复设计并未明显改善Mechanical前几个模态的预测模态形状与频率。由于前几个模态对整体响应贡献最大，我们可将已测试设计方案的加载函数用于True-Load和疲劳软件包中评估重复设计方案的近似值。

可从相对少的离散测量位置抽取全场应变结果，因此康明斯工程师发现这样就能够消除过度设计，缩短开发与测试时间，降低整体部件成本，从而带来巨大的附加价值。另外，与传统方案相比，新方法还可推动分析和实验部门在疲劳评估的端到端工作流程中加深协作。由于能显著加快设计和分析过程，团队计划在将来把新方法用于关注模态响应的其它发电机组结构，如风机、散热器、罩盖和曲轴等。▲



根据模态分析数据建议，True-Load/Pre-Test的54个应变仪的位置

“采用最新版ANSYS Mechanical中的模型装配体功能，团队能以三倍于之前工作流程创建单个模型的速度创建网格。”



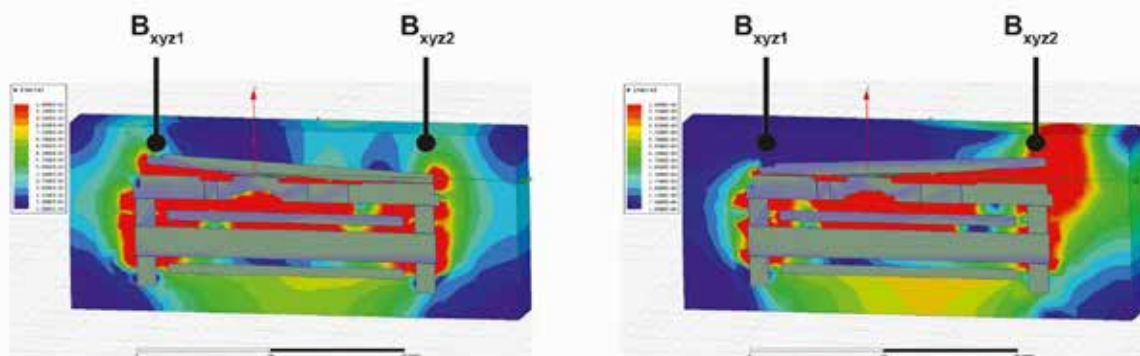
底座主应变（上）和总位移（下）的 True-Load结果

故障安全数字孪生体



可配置安全继电器能根据传感器接收的数据及时切断电源，有助于防止工厂的自动化系统受到破坏和损伤。在安全继电器发生故障时，必须将生产线中断后才能对其进行修复或更换，这会导致高昂的成本。Phoenix Contact Electronics公司的工程师采用ANSYS软件研发了安全继电器的数字孪生体，可实时将传感器数据与仿真结果进行整合，以提前预测故障。这样就可以选择在生产线空闲时更换或维修继电器。

作者：**Ralf Hoffmann**，德国柏林Phoenix Contact Electronics公司高级咨询工程师



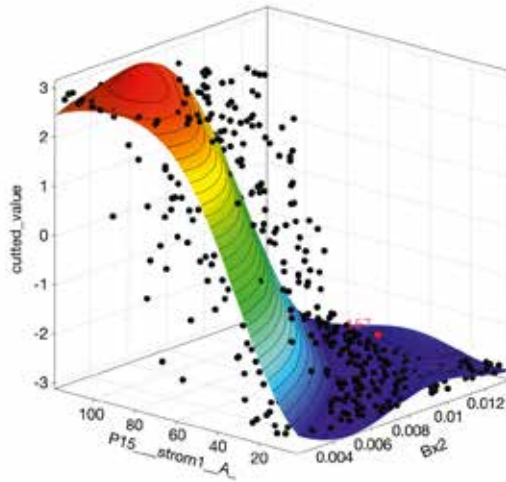
ANSYS Maxwell仿真结果：不同电极位置的磁场。

“Phoenix Contact Electronics工程师采用 ANSYS Twin Builder创建能准确预测各个继电器 剩余寿命的数字孪生体。”

依据前人经验，可根据实验室中装有专用仪表的继电器的物理测量结果来预测安全继电器的剩余使用寿命。但是，当在工程实际中投入运行，我们无法实现实验室程度的继电器测量，部分原因是它们必须密封起来，才能在通常恶劣的工厂环境下为其提供保护。Phoenix Contact Electronics工程师采用ANSYS Twin Builder系统设计软件的前导版本，将能够对运行中的继电器执行的有限测量与ANSYS多物理场仿真降阶模型(ROM)进行整合，为剩余寿命预测提供所需数据。我们可在数字孪生体中整合两种不同类型的ROM-代表继电器的电磁与机械行为的ROM以及代表输入改变将如何影响结果的ROM。后一种ROM也称为基于数据的ROM，其由ANSYS optiSLang的最佳预测元模型(MOP)流程生成，可在停车前预测接触侵蚀和电枢旋转角度。Phoenix Contact Electronics已使用专用演示继电器上验证了数字孪生体，目前正努力将数字孪生体集成到工程实际中使用的继电器。

继电器使用寿命的权衡取舍

在使用过程中，每个安全继电器都会遇到对其寿命有严重影响的独特荷载和环境条件。继电器使用寿命根据其最差情况下最大限度减少停机时间来进行估算，因此大多数继电器都是在使用寿命结束之前就



最佳预测元模型可预测电枢位置。

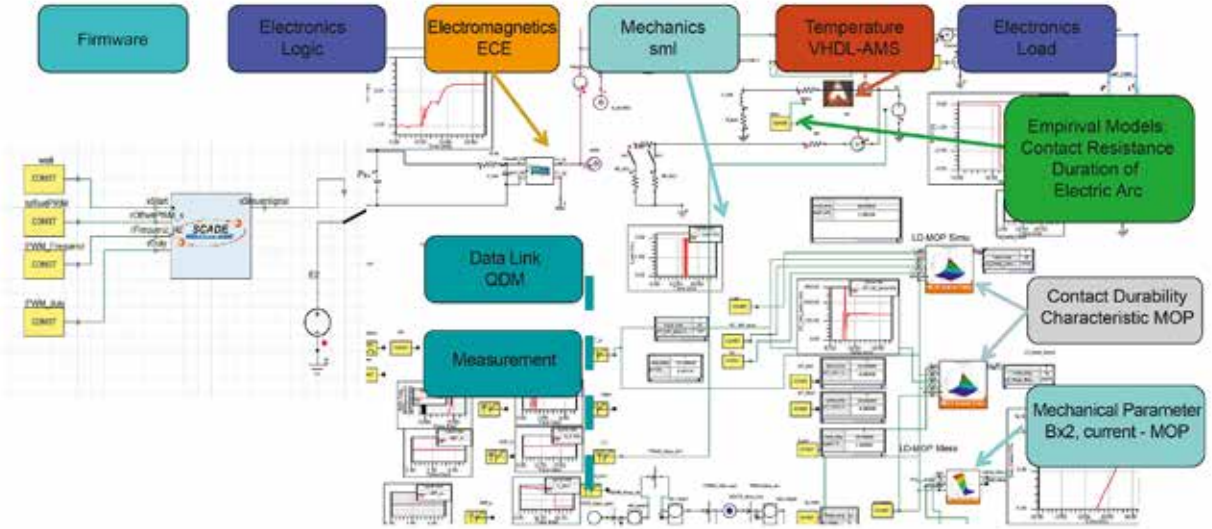
进行更换。尽管如此，遭受最严苛荷载和环境条件的继电器往往会因诸多原因发生故障，其中最常见原因是接触磨损。

冗余安排和其他内部安全功能通常会关断或绕开发生故障的继电器。尽管如此，当继电器发生故障，通常

有必要关闭由相关继电器控制的设备，直到故障继电器被修复或更换。继电器控制的生产线通常每小时可生产价值成千上万美元的产品，因此即使短暂停车也代价不菲。直到现在，也没有任何实用的方法可以预测安全继电器在何时发生何种故障，因而也无法在发生故障之前选择相关设备计划停机期间进行更换。

一般是在实验室中针对开路继电器测量继电器的机械特性。但是，在实际使用中，为了抵抗恶劣的情况，通常会对继电器进行封装。封装会妨碍重要机械特性的测定，如电枢旋转角度等。电枢旋转角度对磁通密度具有巨大影响，而这是决定计算寿命至关重要的因素。运行中的密封继电器无法测量的另一个参数是接触抖动时间：继电器闭合时、稳定到固定位置之前触点靠在一起抖动的时间。接触抖动会对各个外壳触点磨损情况产生严重影响。



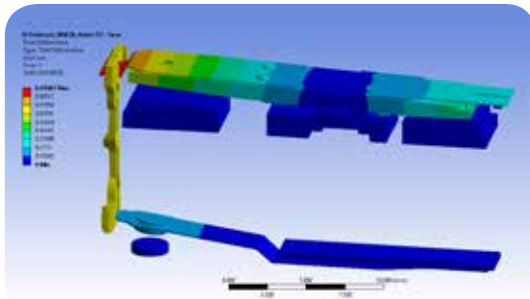


数字孪生体原理图

创建继电器的数字孪生体

Phoenix Contact Electronics工程师采用ANSYS Twin Builder软件创建数字孪生体，可将仿真结果与继电器（以及其他组件）的物理测量结果整合在一起，准确预测每个继电器的剩余寿命。这可帮助工厂将继电器的工作寿命延长至接近“寿终正寝”，同时最大限度减少发生故障的次数和停机时间。

工程师采用静态和瞬态ANSYS Mechanical有限元模型对继电器的机械运行状态进行仿真。这些仿真可确定弹簧、传输元件和其他机械



接触弹簧的静态结构分析

组件的运动、作用力和应力状况。适用于相关物理场的全系统仿真模型需要大量求解时间，因此可将这些模型转换成ROM，这样不仅保留了原始仿真模型近乎完整的精度，同时还能以更少的时间提供相关结果。通过将模型分解成单个的线性部分、利用耦合单元进行连接并将自然模式转换成空间-状态矩阵，ANSYS Twin Builder可将把瞬态模型转换成ROM。

电磁性能仿真

Phoenix Contact工程师采用ANSYS Maxwell软件对继电器的电磁性能进行仿真。采用协同仿真进行机械与电磁模型耦合需要进行大量计算，因此为了向机械仿真提供输入，以用作旋转角度、冲程、电激励等因素的函数，工程师利用ANSYS Twin Builder在特性

图中将由ANSYS Maxwell计算的扭矩和荷载进行了高度整合。

通过结合分析公式与经验研究，我们可确定环境温度对继电器内部温度造成的影响。可使用数值模块在数字孪生体中集成热相关性。

使用手册公式推导出诸如接触电阻等电气特性，作为系统机械状态的函数。我们采用ANSYS SCADE对继电器所用固件进行研发，同时将固件作为功能模型单元(FMU)集成到数字孪生体中。

我们无法直接在现场对继电器使用寿命预测的两个重要组件进行测量，也无法通过仿真对其进行预测，即停机前的接触侵蚀状态和电枢旋转角位置。继

电器的接触侵蚀测量是在实验室条件下针对不同荷载范围、温度、工作电压和安装类型进行的。根据上述测量结果，工程师在ANSYS optiSlang中生成了MOP，并将接触寿命作为继电器操作参数函数。根据磁场的测量结果，能确定电枢旋转角度。在实验室条件下，通过扫描可能方向的完整范围，工程师生成附加MOP，根据磁场传感器数据预测数字孪生体的电枢旋转角度。

接触抖动计算

接触抖动时间取决于电枢与弹簧的速度、接触力、接触间隙和激励电压。实际继电器的物理测量结果可更新能计算抖动的仿真模型，而仿真的结果进而又可以更新MOP，用于预测继电器剩余使用寿命。针对一系列操作参数（其中1.592毫秒的抖动时间导致在发生故障前的剩余寿命还能切换292次）的仿真，可

以说明抖动的重要性。通过将抖动时间降至0.826毫秒，发生故障前的剩余寿命增加到可切换29,343次。

Phoenix Contact Electronics目前正在使用经由质量数据模型(QDM)结构化数据接口和演示继电器来操作数字孪生体。温度和电压等传感器数据可根据需要从继电器发送到数字孪生体，并用于仿真继电器行为。然后将仿真输出及测量值用作MOP的输入，进而预测继电器的剩余寿命。

Phoenix Contact Electronics研发了能准确预测演示继电器剩余寿命的数字孪生体方法。工程师现在正努力将数字孪生体集成到投产的继电器，提供最终剩余寿命的准确测算。这些数字孪生体不仅能帮助制造商最大限度地延长继电器的可用寿命，同时又能预防故障及减少停机。▲

本文对2017年《RDO杂志》第2期率先发表的“信息物理系统中的元模型 (Metamodels in a Cyber-Physical System)”一文进行了论证。

仿真新闻

ANSYS收购材料信息领导企业Granta Design

摘自《3D Printing Industry》，2019年1月

Granta Design堪称材料信息技术领域的领先供应商，ANSYS对Granta Design的收购进一步壮大了ANSYS的产品阵营，向至关重要的领域开拓探索，从而帮助客户获得丰富的材料信息，如成功仿真所需的重要数据等。

随着金属、塑料、陶瓷等材料性能的不不断提升 - 包括复合材料和增材制造等领域的创新，制造商在研发产品的过程中拥有丰富的材料选择。与此同时，制造商需要准确、可跟踪而且可靠的材料信息，从而做出明智的材料选择，并确保仿真的准确性。通过此次收购，ANSYS客户能获得全球领先的企业材料信息管理系统以及业界最前沿的材料货源、选择和管理解决方案。Granta客户有望能以更轻松的方式使用ANSYS仿真技术。



ANSYS收购电磁仿真专业公司Helic

摘自《EE News Europe》，2019年1月

Helic堪称片上系统(SoC)电磁串扰解决方案的业界领先供应商，而ANSYS电磁与半导体求解器也当属行业不可多得的旗舰解决方案。ANSYS对Helic的收购举措将形成强强联合，共同为片上3D集成电路与芯片封装系统电磁及噪声分析领域打造综合全面的解决方案。

加快

5G

网络 基础设施 设计

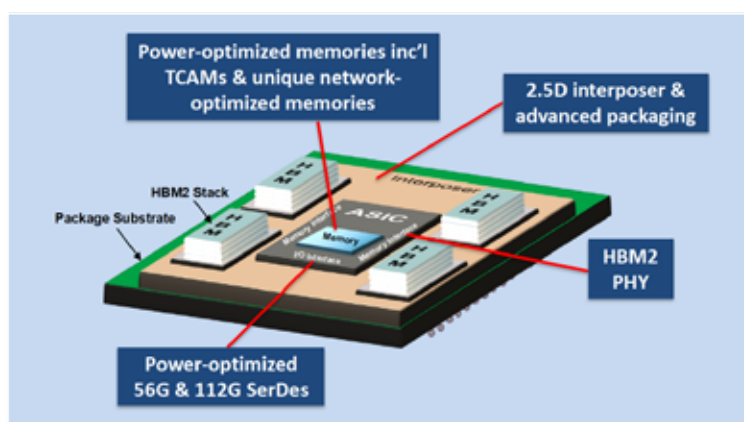
随着世界逐渐向网络化和数字化发展，更大量数据和更高速度的需求是显而易见的。全球互联网流量的增长以及云和数据中心分散化的提高，使得可支持5G网络基础设施的有线与无线网络应运而生。5G技术有望实现一次大的升级：1000倍的流量、10倍的网速和10倍的吞吐量。这些系统极其复杂，推动芯片与制造技术向更广阔的领域发展。eSilicon采用ANSYS的芯片-封装-系统建模与仿真软件进行设计与验证，这样能为这个不断发展的市场提供及时且精准的服务。

作者：**Teddy Lee**，美国圣何塞eSilicon公司SI/PI设计师



3DIC系统级芯片-封装-系统电源
完整性协同分析解决方案
ansys.com/cps-solution-3dics

“面对数千万美元的设计成本以及可能会导致延期甚至丧失市场机遇的再次设计，
eSilicon选择采用ANSYS的芯片-封装-系统(CPS)建模与仿真软件。”



Example of a hyperscale data center ASIC

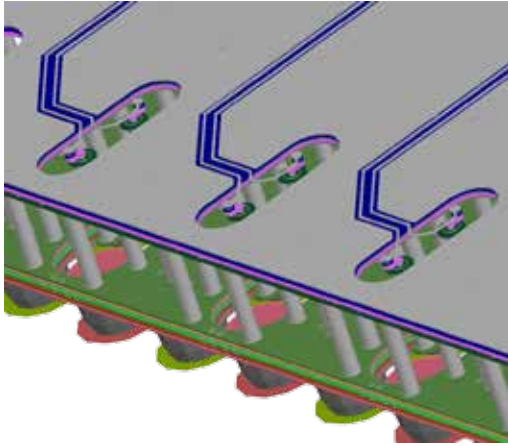
eSilicon高度可配置的FinFET级7nm IP平台包含集成在硅内插器上且内置在复杂2.5D封装中的应用优化处理器核及众多高带宽存储器(HBM)堆栈。

在

采用前沿技术进行设计时，企业需要考虑的是总体系统性能，而不仅仅是设计符合规范的芯片。eSilicon配有高级专用集成电路(ASIC)，面向5G的基础设施、网络、高性能计算以及人工智能市场中一级系统原始设备制造商(OEM)的知识产权(IP)。eSilicon可提供FinFET ASIC，FinFET ASIC集成了 eSilicon 采用14nm和7nm技术的高级IP及业界领先的2.5D封装技术。公司能够提供功耗更低、带宽更高以及灵活度更高的产品，这些产品能够满足客户的计算性能及系统可靠性需求。eSilicon既是高级IP开发商又是其用户，它能实现可预测性更高、更稳健的设计。

更小的半导体技术节点、更高密度和更低裕量等相关的产品复杂性确实会增加设计启动期间或产品上市初期的系统故障风险。面对数千万美元的设计成本以及可能会导致延期甚至丧失市场机遇的再次设计，eSilicon选择采用ANSYS包含SIwave、RedHawk、HFSS和CMA等在内的芯片-封装-系统(CPS)建模与仿真软件，在交送生产(Tapeout)之前对设计进行测试和验证。ANSYS软件能对芯片、封装、基板和系统中的每个组件进行精细建模，同时在该环境中能将每个组件无缝集成到单次仿真。尽早地从前至后对整个系统进行验证，这对公司的成功至关重要。该设计方法集成了所有组件（芯片、存储器、基板、封装等），确保ASIC可独立工作且在具有其他不确定性的整个系统环境下仍能正常运行，从而降低风险并加速产品上市进程。

eSilicon工程师通过与客户开展紧密合作，以控制设计方案与接口的复杂性。他们密切关注芯片、封装基板、封装和系统中信号完整性(SI)和电源完整性(PI)的影响。他们联手ANSYS研发了CPS SI/PI建模与分析流程，该流程不仅可对系统中从芯片、封装到电路板的每个组件进行详细建模，而且还能将它们集成到一起进行仿真，从而更深入地了解所有组件之间的相互影响。



为了降低电容和提高阻抗，可放大封装基板BGA区的外焊盘并将其进行差分桥接。

为了降低电容和提高阻抗，可放大封装基板BGA区的外焊盘并将其进行差分桥接。

封装基板中无源互连线的材料特性与几何尺寸会影响最终的S参数性能。就2D设计而言，存在众多的场求解器可计算阻抗和SI性能，但是eSilicon工程师设计的2.5D封装需要采用ANSYS HFSS - 一种适用于高频SerDes设计的真实3D场求解器。在几何结构密集的封装或内插器内部，周边结构会对信号性能产生巨大影响，尤其是在高频情况下。

验证DC电源完整性

对于DC电源完整性，eSilicon工程师可对电路板电压调节模块(VRM)、迹线、封装基板和硅内插器的DC电压降落进行建模。他们采用ANSYS SIwave提取这些组件并将它们集成到系统模型中。此外，他们还使用SIwave进行DC仿真，以验证IR/压降、电流与功率密度。如果发现有任何瓶颈问题或违规之处，工程师就会为了改善配电网再次执行迭代。借助高精度、高吞吐量和无缝集成的ANSYS工具，工程师能够改善他们的设计方案，进行快速假设分析并实现设计调整。

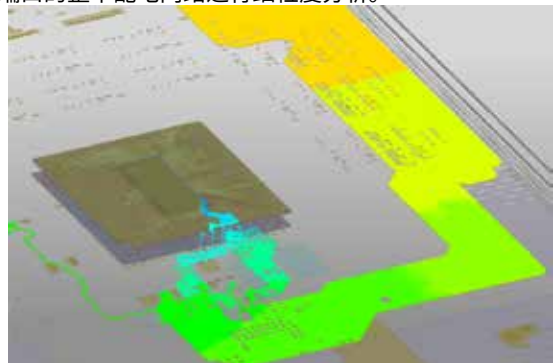
准确了解电路板到芯片电源布线以及各层面的详细寄生参数提取，这对PI可靠性分析至关重要。如果工程师假设系统电路板配备理想的电压调节模块(VRM)，仿真结果可能与实际性能会明显偏离，因为这时的局部电流有可能超过电压源的平均电流。因此，VRM准确位置的定义及驱动封装实际迹线的提取非常重要。通过使用SIwave，工程师能对从VRM一直到芯片端口的整个配电网进行细粒度分析。

验证AC电源完整性

要想取得设计成功，控制芯片噪声对系统的影响至关重要。为了全面综合地了解电源完整性，理解如何通过硅内插器，封装基板和电路板进行供电十分重要。eSilicon工程师采用CPS方法对从芯片开始到内插器、封装基板和PCB等每个组件进行提取及建模。然后他们在频域和时域仿真整个系统。工程师利用ANSYS RedHawk对芯片和内插器进行建模，利用ANSYS SIwave执行封装和PCB分析，同时利用ANSYS CMA进行仿真。验证完整系统细粒度精度的

信号完整性验证

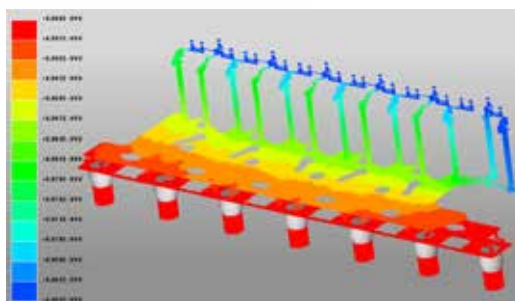
一旦完成基板与硅片内插器的初始布局，eSilicon工程师可采用ANSYS HFSS和ANSYS SIwave提取复杂的3D结构，然后生成用于高速网络插入损耗、回波损耗和串扰性能分析的S参数模型。将无源元件的频谱响应结果与封装规范进行比较。任何违规或裕量不足都会导致设计变更，就需要进行附加提取和分析迭代，直至满足要求。对于2.5D封装设计，eSilicon工程师可将基板和内插器S参数模型进行连接，以创建最终的封装模型。为了验证时域内的



电压图的3D模型可显示从VRM到封装的仿真电压梯度，从而帮助eSilicon工程师定位出现压降的位置，例如：PCB上的通孔、BGA下面的swiss-cheese平面以及封装层等。

挑战之一在于从VRM到芯片的组件频率范围会不断发生变化。ANSYS CMA可对芯片、封装和电路板的宽频谱完整供电网络电流分布进行建模，还可对芯片、封装和电路板边界中的大电流瞬变（从几纳秒到几毫秒不等）进行瞬态仿真。这种电流的瞬变会导致全局轨道电压发生灾难性骤降。

AC电源完整性分析旨在通过优化阻抗来确保瞬态电源噪声是可接受的。如果电源噪声过高或其裕量过低，则工程师将返回至频域进行更多解耦优化，甚至会进一步返回至板面布局。通过在设计早期阶段开展分析，eSilicon工程师能对设计进行性能优化，而非仅是简单的验证。



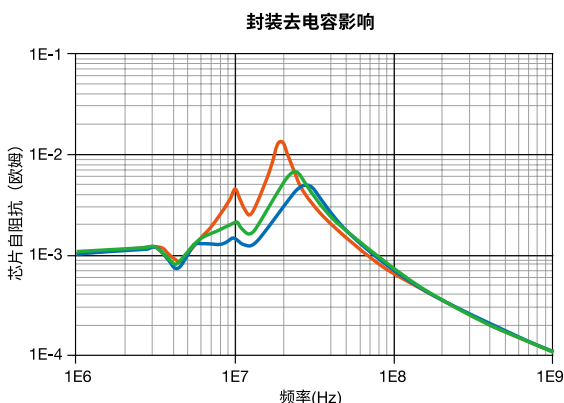
已仿真的电压梯度：从封装到芯片接口以及从BGA球、基板通孔，最终到通向C4接口的迹线。由于封装中的配电网比PCB的规模小且更密集，因此在封装设计中实现大幅IR压降改善的机会不大。

频域自阻抗与电容器优化

作为频域分析的组成部分，eSilicon工程师需要密切观察芯片的自阻抗及其对系统各个组件的影响。他们需确定是否需要使用封装级电容器才能降低封装的系统级谐振。通过采用ANSYS SIwave，工程师能够计算目标阻抗，并通过添加不同电容值和数量降低谐振频率。

时域仿真

一旦解耦在频域中完成优化，eSilicon工程师就能进行时域仿真，分析芯片的电源噪声。他们不仅能利用ANSYS RedHawk生成电流分布，而且还能提取



芯片供电网络的电气模型。RedHawk主要是一种芯片级工具，仿真可生成具有高频数据，但仅适用于超短时长的电流分布。而系统级分析中的低频带宽需要更长的时间。扩展电流分布不像重复波形那样简单，因为可使用电流调制来激励特定谐振频率，也可对某些功能模式进行建模，例如TCAM内存访问等。ANSYS CMA可帮助eSilicon工程师调制任何包络、输出频域阻抗以及任何时域瞬态噪声的电流分布。此外，ANSYS CMA还可自动连接芯片、内插件和封装之间的复杂接口，这样不仅能节省大量的人工操作，而且还可降低误差风险。

用ANSYS RedHawk生成电流分布，而且还能提取芯片供电网络的电气模型。RedHawk主要是一种芯片级工具，仿真可生成具有高频数据，但仅适用于超短时长的电流分布。而系统级分析中的低频带宽需要更长的时间。扩展电流分布不像重复波形那样简单，因为可使用电流调制来激励特定谐振频率，也可对某些功能模式进行建模，例如TCAM内存访问等。ANSYS CMA可帮助eSilicon工程师调制任何包络、输出频域阻抗以及任何时域瞬态噪声的电流分布。此外，ANSYS CMA还可自动连接芯片、内插件和封装之间的复杂接口，这样不仅能节省大量的人工操作，而且还可降低误差风险。

在获得了扩展的已调电流激励之后，eSilicon工程师可使用基于ANSYS CMA的时域仿真来，对整个配电网进行分析。为了确定是否存在违规，他们需要将仿真结果与容许噪声规范进行比较。如果需要额外的裕量，那么工程师将返回至频域仿真，以便修改芯片、封装或电路板上的电容，从而进一步优化设计；他们甚至还可进一步回溯设计流程，对配电网的布局进行优化。

一级系统OEM厂商需要实现更低功耗、更高性能和小型化的尺寸，而eSilicon可助力他们轻松应对所面临的挑战。他们不仅非常关注使用周期内的性能、散热管理和机械可靠性，也关心与固件及软件的集成。面对将此种规模的项目推向市场所涉及的复杂度，基于CPS流程使用ANSYS工具套件的设计与验证方法有助于eSilicon加快盈利时间。⚠

参考资料

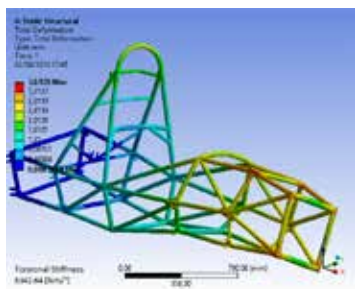
- Multi-Die Packaging and Thermal Superposition Modeling, info.esilicon.com/esilicon-white-paper-downloads-4?submissionGuid=c5150914-7c85-4e78-9668-aff0482d4345 (12/19/2018)
- 2.5D/HBM2 Packaging & Solutions, esilicon.com/capabilities/custom-2-5d-3d-packaging/ (12/19/2018)



设计更轻 更坚固的赛车

作者：**Paolo Bosetti**
意大利特兰托大学
工业工程系助理教授

来自全球高校工科学生团队竞相参与Formula SAE (FSAE)赛车设计比赛，让他们有机会以实际有趣的方式利用自己的工程知识制造一辆赛车。为了设计出比典型FSAE赛车重量更轻、连接更牢固且更易于制造的一款赛车，E-AGLE Trento参赛团队采用了ANSYS增材制造解决方案和ANSYS Mechanical的拓扑优化功能。



意大利特兰托大学工业工程系
助理教授

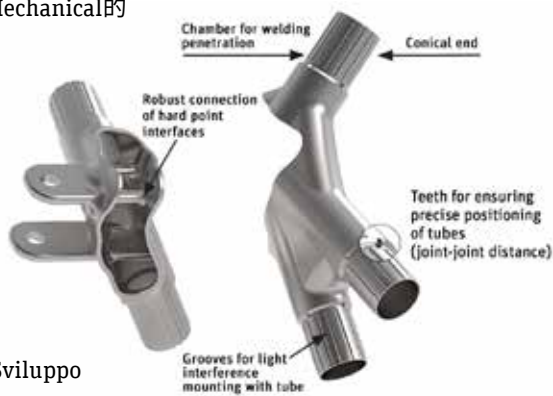
对于意大利特兰托大学(University of Trento)的E-AGLE Trento赛车团队而言，Formula SAE不仅仅是一场比赛，同时实现车架的设计和制造方面突破性创意的机会。通过与ANSYS技术支持团队密切合作，他们使用ANSYS Workbench Additive (ANSYS Additive Suite组成部分)进行增材仿真，生成的新型框架接头在强度方面主要取决于材料的机械特性，而不是潜在较脆弱的焊接。此外，通过尽可能减少焊接过程中固定组件的外部板牙或夹具的需求，这种接头的制造过程会更加简单。Workbench Additive帮助团队将过去传统的车架薄弱的部分（所谓的“硬点”，悬架通过此处与车架连接）变成3D打印接头不可分割的组成部分，而不是由焊接到外部的金

属接头组成。通过消除这一典型薄弱点，该团队不仅提高了车架的刚度，同时也增强了赛车在比赛期间的抗破裂性能。最后，基于ANSYS Mechanical的拓扑优化还帮助他们将赛车单个部件的重量锐降了55%。

起源

E-AGLE Trento团队于2016年成立，由特兰托大学教师负责指导。他们意识到计划制造的某些赛车部件需要采用增材制造技术，因此团队与下列两家机构展开合作：隶属于当地政府且由欧盟资助的工业研发公司Trentino Sviluppo，及为机电系统进行原型设计的ProM机电一体化中心。后者由Trentino Sviluppo SpA、特兰托大学以及Bruno Kessler基金会负责管理，且特兰托工业联盟(Confindustria Trento)也提供帮助。

这种合作关系无疑是双赢的。E-AGLE Trento团队需要使用ProM的3D打印机、激光切割机以及其它的业界领先设备。ProM需要第一个检测实例来彰显其产品的上市能力，而FSAE赛车项目无疑就是理想的选择。



3D打印接头可提高强度和扭转刚度

基础工程

团队首先将开放式车架设计作为切入点，而非许多参赛队伍所选择的一体式设计。开放式框架设计将工程挑战的重点放在如何设计金属管和接头的最佳布局。设计的总体目标是通过优化参数（定义为车架扭转刚度除以车架重量）来确定车架的高阶几何结构。

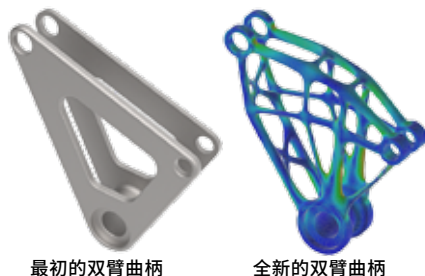
由于车架中三个金属管之间接头的直径、厚度和相对位置变化范围很大，因此这些学生工程师们使用ANSYS Mechanical在ANSYS Workbench环境中进行参数化研究，以调查所有参数变化的影响。确定车架中接头处金属管的最佳横截面和厚度，是加强车架高应力点处强度及减轻车架总重的关键。参数化仿真研究可帮助学生确定各个管和接头的最佳配置，而所需时间比传统的手动迭代要少得多。



显示带一体化硬点连接器的四向接头的装配车架特写

打磨细节

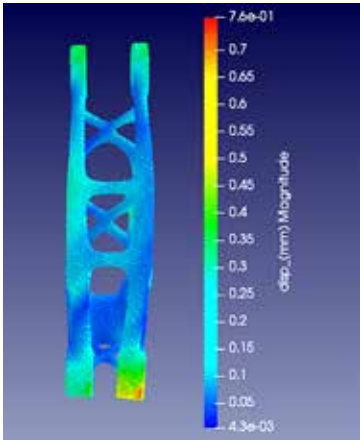
E-AGLE Trento团队的工程师希望不仅能设计出令人满意的FSAE车架，还能实现超越，他们渴望寻求革命性创新元素大幅提升车辆的强度和可制造性。而这种创新元素就是车架接头，车架接头是三个或更多车架管交叉形成的转角点。在过去，只是简单地将这些管子端对端焊成接头，这样焊点可能成为车架结构的薄弱点。通过使用ANSYS Mechanical和Workbench Additive，工程师致力于打造强度更多取决于机械特性而更少取决于焊点本身的车架接头。此外，为了消除另一个薄弱点，他们还将悬架连接的硬点融合到了3D打印接头中。



最初的双臂曲柄

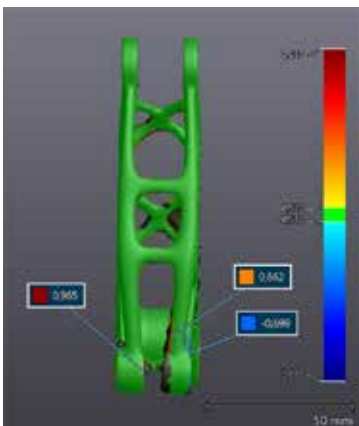
全新的双臂曲柄

采用ANSYS拓扑优化功能设计的双臂曲柄，其重量从345克降至220克 - 降幅达37%



对FSAE赛车部件的热变形进行仿真

“采用拓扑优化功能，学生工程将双臂曲柄的重量从345克降至220克，降幅达37%。”



实际物理部件的热变形测量结果

在确定车架管的最优尺寸后，他们采用Workbench Additive设计了直径渐增的接头，这样接头的末端就能装入车架管的尾部。最终的内接头具有一系列用于与外部车架管相接触的齿顶。这样就可确保管与接头间的机械应力主要由管内接头的机械配合而非焊缝承受。车架管的末端有一个用于容纳焊接合金的倒角。在此倒角上等间隔分布的小齿状突起可确保管与接头之间的理想距离。管与接头精确的相对定位具有两大优势：

- 在车架的装配过程中仅需单板牙。这种单板牙有助于在焊接期间将车架主箍连接到车辆后部。FSAE规则要求主箍必须是一根单管，因此主箍不能进行连接，只可焊接。车架的后部装配无需板牙，因为此结构可通过管与接头的精确相对位置进行固定。这种构造不仅可确保焊接精度，还能显著缩短整个车架的焊接时间。
- 与纯粹焊接的开放式空间车架设计相比，车架的强度和刚度要高得多。

组件轻量化

减少重量是在相同油耗下提升车辆加速能力和车速的常用的方法——这一点对任何赛车都至关重要。E-AGLE Trento工程师使用ANSYS Mechanical的拓扑优化功能重新设计了最初采用实心金属制造的三个组件：双臂曲柄、悬挂摇杆和转向系统支撑机构。拓扑优化功能可自动确定将给定体积内材料供于何处才能保证在加载一致的情况下能有效控制载荷与应力。成品车架具有无材料的开放空间以及能承受极高应力的加厚支架。总而言之，拓扑优化可降低各个组件的重量。在本次优化中，学生工程师将双臂曲柄的重量从345克降至220克，降幅达37%。对于转向系统支架，他们将重量减少了55%，即从450克降到210克。

对增材制造设计的热变形进行补偿

金属增材制造粉末床进行制造需要增加材料层并使用激光进行加热以融化粉末。加热与冷却过程均会导致变形，进而导致不理想的形状出现。E-AGLE Trento团队采用ANSYS Workbench Additive对执行3D打印操作之前的热变形量进行了仿真，这样他们能通过调整部件的几何结构对变形做出补偿。虽然变形依旧存在，但变形情况完全能够预测，而且也能通过修改几何结构对其进行控制。能保证最终的部件完全符合规范要求。

合作赢得比赛

通过与ANSYS技术支持团队密切合作，E-AGLE Trento学生工程师掌握了如何使用Workbench Additive和Mechanical对他们FSAE赛车的开展开创性的车架设计。由于车架具有更高的扭转刚度，因此赛车在重量更轻同时也更加坚固，从而不仅能提升车速、减少磨损而且还能加强安全性。⚠

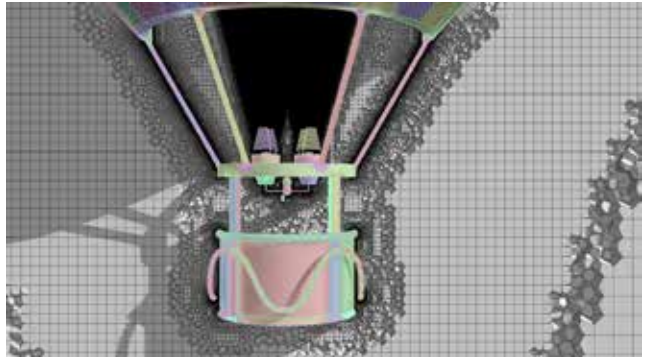
仿真最新新闻

ANSYS 2019 R1具有无与伦比的速度和易用性，助力实现新一代技术创新

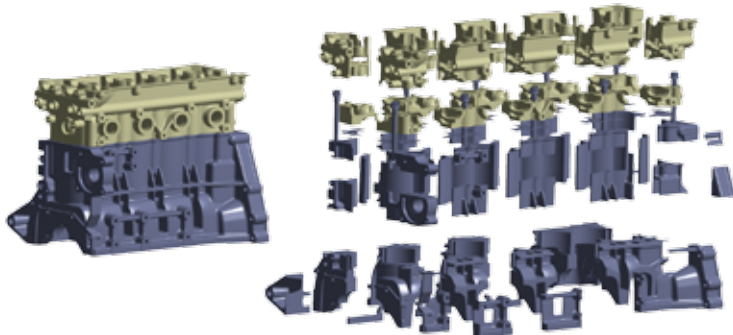
MCAD Cafe, 2018年1月

5G、自动驾驶和电气化等概念的出现使得产品研发领域发生了前所未有的变化，这对工程师提出了更高的要求，需要他们能在不影响功耗和准确度的情况下加快创造新理念、仿真及验证的速度。为了支持日益加快的创新速度，ANSYS 2019 R1对整个产品模块进行了全新的功能升级。

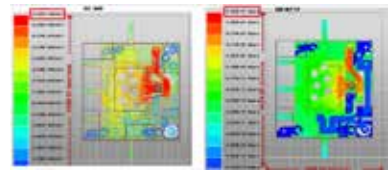
从ANSYS Fluent极具变革的用户体验，到高度精确的增材制造解决方案，乃至全新ANSYS Motion产品线的突破性功能，ANSYS 2019 R1利用全新升级助力众多行业实现生产力最大化。



ANSYS Fluent基于任务的工作流程，能帮助用户快速便捷地创建支持Mosaic的高质量网格，甚至还能支持复杂的几何结构。



ANSYS Mechanical能以快两倍的速度运行接触面积大的模型。



ANSYS HFSS与ANSYS SIwave中的EMI Scanner均支持设计规则校核，能在运行全面仿真之前即发现设计中潜在的EMI问题。



ANSYS 2019 R1
[ansys.com/r1](https://www.ansys.com/r1)

ANSYS联手MICROSOFT实现复杂云端建模功能

DE247, 2019年2月



全球工程师正面临多重挑战，一方面需要加速技术创新和产品的上市进程，另一方面还需要克服有限的计算资源压力。为此，一种全新的服务ANSYS Cloud应运而生，ANSYS Cloud可将ANSYS Mechanical和ANSYS Fluent软件与Microsoft Azure数据中心和高性能计算(HPC)基础设施进行协同组合。ANSYS Cloud使工程师能安全无缝地使用按需HPC，在助力提高生产力的同时还能节约宝贵的时间和资源。

ANSYS Cloud拥有庞大的计算容量，即能为云端的高保真仿真提供稳健安全的环境，又能在较短时间内评估众多设计方案。ANSYS Cloud能帮助组织机构提高仿真吞吐量，组织就能即时解算更大更复杂的模型，从而显著加速新产品的研发进程。



ANSYS云
[ansys.com/cloud](https://www.ansys.com/cloud)

ANSYS中国

售前咨询热线: 400 819 8999

售前咨询邮箱: info-china@ansys.com



助力电气 化变革

ANSYS仿真能够加快电气化系统的设计与研发速度——从电动汽车和飞机到工业设备和发电厂——横跨所有行业。

[ANSYS.COM/ELECTRIFICATION](https://www.ansys.com/electrification)

ANSYS